

O NOVO ESPÍRITO CIENTÍFICO
GASTON BACHELARD

Pôr o leitor directamente em contacto com textos marcantes da história da filosofia

-através de traduções feitas a partir dos respectivos originais,

por tradutores responsáveis, acompanhadas de introduções

e notas explicativas foi o ponto de partida

para esta colecção.

O seu âmbito estender-se-á a todas as épocas e a todos os tipos

e estilos de filosofia, procurando incluir os textos mais significativos do pensamento filosófico

na sua multiplicidade e riqueza. Será assim um reflexo da vibratibilidade do espírito filosófico perante o seu tempo,

perante a ciência e o problema do homem

e do mundo.

Textos Filosóficos Director da Coleção:

ARTUR MORAIS Professor no Departamento de Filosofia da Faculdade de Ciências

Humanas da Universidade Católica Portuguesa

1. Crítica da Razão Prática

Immanuel Kant

2. Investigação sobre o Entendimento Humano

David Hume,

3. Crepúsculo dos ídolos

Friedrich Nietzsche

4. Discurso de Metafísica Gottfried Wilhelm Leibniz S. Os Progressos da Metafísica

Immanuel Kant

6. Regras para a Direcção do Espírito

René Descartes

7. Fundamentação da Metafísica dos Costumes

Immanuel Kant

8. A Ideia da Fenomenologia

Edmund Husserl

9. Discurso do Método

René Descartes

10. Ponto de Vista Explicativo da Minha Obra como Escritor

Søren Kierkegaard

11. A Filosofia na Idade Trágica dos Gregos

Friedrich Nietzsche

12. Carta sobre Tolerância

John Locke

13. Prolegómenos a Toda a Metafísica Pura

Immanuel Kant

14. Tratado da Reforma do Entendimento

Bento de Espinosa

15. Simbolismo: Seu Significado e Efeito

Alfred North Whitehead

16. Ensaio Sobre os Dados Imediatos da Consciência

Henri Bergson

17. Enciclopédia das Ciências Filosóficas em Epítome (vol. 1)

Georg Wilhelm Friedrich Hegel

18. A Paz Perpétua e Outros Opúsculos

Immanuel Kant

19. Diálogo sobre a Felicidade

Santo Agostinho

20. Princípios sobre a Felicidade

Ludwig Feuerbach

21. Enciclopédia das Ciências Filosóficas em Epítome (vol. 11)

Georg Wilhelm Friedrich Hegel

22. Manuscritos Económico-Filosóficos

Karl Marx

23. Propedêutica Filosófica Georg Wilhelm Friedrich Hegel

24. O Anticristo Friedrich Nietzsche

25. Discurso sobre a Dignidade do Homem

Giovanni Pico della Mirandola

26. Ecce Homo Friedrich Nietzsche

27. O Materialismo Racional

Gaston Bachelard

28. Princípios Metafísicos da Ciência da Natureza

Immanuel Kant

29. Diálogo de um Filósofo Cristão e de um Filósofo Chinês

Nicolas Malebranche

30. O Sistema da Vida Ética Georg Wilhelm Friedrich Hegel

31. Introdução à História da Filosofia

Georg Wilhelm Friedrich Hegel

32. As Conferências de Paris

Edmund Husserl

33. Teoria das Concepções do Mundo

Wilhelm Dilthey

34. A Religião nos Limites da Simples Razão

Immanuel Kant

35. Enciclopédia das Ciências Filosóficas em Epítome (vol. 111)

Georg Wilhelm Friedrich Hegel

36. Investigações Filosóficas Sobre a Essência da Liberdade Humana

F. W. J. Schelling

37. O Conflito da Faculdade

Immanuel Kant

38. Morte e Sobrevivência

Max Scheler

39. A Razão na História Georg Wilhelm Friedrich Hegel

40. O Novo Espírito Científico

Gaston Bachelard

0 NOVO E.SKRITO CIENTIFICO

Título original: Le nouvel esprit scientifique

(0 Presses Universitaires de France, 1934

Tradução de António José Pinto Ribeiro

Capa de Edições 70

Todos os direitos reservados para língua portuguesa

por Edições 70, Lda.

Depósito legal n.º 96836/96

ISBN: 972-44-0915-5

EDIÇÕES 70, Lda. Rua Luciano Cordeiro, 123-2.º Esq. - 1000 Lisboa

Telefs.: 315 87 52 / 315 87 53

Fax: 315 84 29

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 de Autor será passível

de procedimento judicial.

Gaston BACHELARD

o 'O NOVO ESPIRITO 'O

CIENTIFICO

edições 70

Introdução

A COMPLEXIDADE ESSENCIAL

DA FILOSOFIA CIENTÍFICA

Plano da obra

1

Tem-se muitas vezes repetido, desde William James, que todo o homem culto segue fatalmente uma metafísica. Parece-nos mais exacto dizer que todo o homem, no seu esforço de cultura científica, se apoia não em uma, mas sim em duas metafísicas e que essas duas metafísicas naturais e convincentes, implícitas e obstinadas, são contraditórias. Para lhes dar rapidamente um nome provisório, designemos essas duas atitudes filosóficas fundamentais, tranquilamente associadas num espírito científico moderno, sob as etiquetas clássicas de racionalismo e de realismo. Pretender-se-á de imediato uma prova desse tranquilo ecletismo? Basta meditar neste postulado de filosofia científica(1): «A ciência é um produto do espírito humano, elaborado em conformidade com as leis do nosso pensamento e adaptado ao mundo exterior.

(1) Bouty, La vérité scientifique, 1908, p. 7.

9

Apresenta portanto dois aspectos, um subjectivo e outro objectivo, ambos igualmente necessários, porque nos é igualmente impossível mudar o que quer que seja tanto às leis do nosso espírito como às do Mundo.» Estranha declaração metafísica que tanto pode levar a uma espécie de racionalismo redobrado que encontraria, nas leis do Mundo, as leis do nosso espírito, como a um realismo universal que impõe a invariabilidade absoluta «às leis do nosso espírito» concebidas como uma parte das leis do Mundo!

Com efeito, a filosofia científica não se depurou desde a declaração de Boutry. Não seria difícil mostrar, por um lado, que, nos seus juízos científicos, o mais obstinado racionalista aceita no dia a dia a instrução de uma realidade que não conhece a fundo e que, por outro lado, o realista mais intransigente procede a simplificações imediatas, exactamente como se admitisse os princípios informadores do racionalismo. O mesmo é dizer que, para a filosofia científica, não há nem realismo nem racionalismo absolutos e que não se pode partir de uma atitude filosófica geral para julgar o pensamento científico. Mais cedo ou mais tarde, será o pensamento científico que se tornará o tema fundamental da polémica filosófica; esse pensamento levará a substituir as metafísicas intuitivas e imediatas pelas metafísicas discursivas objectivamente rectificadas. Seguindo essas rectificações, convencer-nos-emos, por exemplo, de que um realismo que descobriu a dúvida científica já não poderá ser da mesma espécie que o realismo imediato. Convencemo-nos igualmente de que um realismo que corrigiu juízos a priori, como aconteceu no caso das novas extensões da geometria, não poderá continuar a ser um racionalismo fechado. Haveria, pois, interesse, cremos nós, em tomar a filosofia científica em si mesma, em julgar as suas ideias preconcebidas, mesmo fora das imposições demasiado estritas do vocabulário filosófico tradicional. Na realidade, a ciência cria filosofia, pelo que o filósofo deve inflectir a sua linguagem para traduzir o pensamento contemporâneo na sua flexibilidade e mobilidade. Deve também respeitar essa estranha ambiguidade que exige que todo o pensamento científico se interprete ao mesmo tempo na linguagem realista e na linguagem racionalista. Nesse caso, talvez se devesse tomar como uma primeira lição a meditar, como um facto a explicar, esta impureza metafísica provocada pelo duplo sentido da prova científica, que se afirma tanto na experiência como no raciocínio, simultaneamente no contacto com a realidade e numa referência à razão.

Parece, aliás, poder dar-se rapidamente uma razão desta base dualista de toda a filosofia científica: pelo próprio facto de a filosofia da ciência ser uma filosofia que se aplica, ela não

]o

pode conservar a pureza e a unidade de uma filosofia especulativa. Seja qual for o ponto de partida da actividade científica, tal actividade só pode convencer plenamente abandonando o dominio de base: se ela experimenta, terá de raciocinar; se raciocina, terá de experimentar. Toda a aplicação é transcendência. Na mais simples das operações científicas, mostraremos que pode captar-se uma dualidade, uma espécie de polarização o epís-, temológica que tende a classificar a fenomenologia sob a dupla rubrica do pitoresco e do compreensível, por outras palavras, sob a dupla etiqueta do realismo e do racionalismo. Se soubéssemos, a propósito da psicologia do espírito científico, colocar-nos exactamente na fronteira do conhecimento científico, veríamos que é numa verdadeira síntese das contradições metafísicas que está empenhada a ciência contemporânea. Contudo, o sentido do vector epistemológico parece-nos muito nítido. Vai seguramente do racional para o real e, de modo nenhum, inversamente, da realidade para o geral, como o professavam todos os filósofos desde Aristóteles até Bacon. Por outras palavras, a aplicação do pensamento científico parece-nos essencialmente realizadora. Tentaremos pois mostrar ao longo desta obra aquilo a que chamaremos a realização do racional ou, mais em geral, a realização do matemático.

De resto, esta necessidade de aplicação, embora mais escondida nas ciências matemáticas puras, nem aí deixa de ser eficaz. Ela vem trazer a estas ciências aparentemente homogéneas um elemento de dualidade metafísica, um pretexto para polémicas entre realistas e nominalistas. Se se condena demasiado cedo o realismo matemático, é porque se está seduzido pela magnífica extensão da epistemologia formal, isto é, por uma espécie de funcionamento no vazio das noções matemáticas. Mas se não fizermos indevidamente abstracção da psicologia do matemático, não tardaremos a aperceber-nos de que há na actividade matemática mais que uma organização formal de esquemas e que toda a ideia pura é acompanhada de uma aplicação psicológica, de um exemplo que desempenha as funções de realidade. E damos-nos conta, ao meditar no trabalho matemático, de que ele provém sempre de uma extensão de um conhecimento adquirido no real e que, nas próprias matemáticas, a realidade se manifesta na sua função essencial: fazer pensar. Sob uma forma mais ou menos nítida, em funções mais ou menos combinadas, um realismo matemático acaba, mais cedo ou mais tarde, por dar corpo ao pensamento, dar-lhe a permanência psicológica, desdobrar enfim a actividade espiritual fazendo aparecer, aí como em todo o lado, o dualismo do subjectivo e do objectivo.

Dado que nos propomos estudar sobretudo a filosofia das ciências físicas, é a realização do racional na experiência física

que teremos de esclarecer. Essa realização, que corresponde a um realismo técnico, parece-nos ser um dos traços distintivos do espírito científico contemporâneo, muito diferente a este respeito do espírito científico dos últimos séculos, muito afastado em particular do agnosticismo positivista ou das tolerâncias pragmáticas, sem relação enfim com o realismo filosófico tradicional. Com efeito, trata-se de um realismo de segunda posição, de um realismo em reacção contra a realidade habitual, em polémica contra o imediato, de um realismo feito de razão realizada, de razão experimentada. O real que lhe corresponde não -' atirado para o domínio da coisa incognoscível em si. Tem toda uma outra riqueza numenal. Enquanto que a coisa em si é um númeno por exclusão dos valores fenomenais, parece-nos de facto que o real científico é feito de uma contextura numenal própria para apontar as bases da experimentação. A experiência científica é assim uma razão confirmada. Este novo aspecto filosófico da ciência prepara um ingresso do normativo na experiência: sendo a necessidade da experiência captada pela teoria antes de ser descoberta pela razão, a tarefa do físico é depurar suficientemente o fenómeno para reencontrar o númeno orgânico. O raciocínio por construção que Goblot esclareceu no pensamento matemático faz a sua aparição na Física Matemática e na Física Experimental. Toda a doutrina da hipótese de trabalho nos parece votada a uma rápida decadência. Na proporção em que tal hipótese foi ligada à experiência, ela deve ser considerada tão real como a experiência, já que está realizada. O tempo das hipóteses desgarradas e móveis já passou, como também já lá vai o tempo das experiências isoladas e curiosas. Doravante, a hipótese é síntese.

Se o real imediato é um simples pretexto de pensamento científico e não já um objecto de conhecimento, será necessário passar do como da descrição ao comentário teórico. Essa explicação prolixa espanta o filósofo que desejaria sempre que uma explicação se limitasse a desdobrar o complexo, a mostrar o simples no composto. Ora, o pensamento científico autêntico é metafisicamente indutivo; como mostraremos em várias oportunidades, ele lê o complexo no simples, revela a lei a propósito do facto, a regra a propósito do exemplo. Veremos com que amplitude as generalizações do pensamento moderno completam os conhecimentos particulares. Poremos em evidência uma espécie de generalização polémica que faz passar a razão do porquê ao porque não. Daremos lugar à paralogia ao lado da analogia e mostraremos que à antiga filosofia do como se sucede, em filosofia científica, a filosofia do porque não. Como diz Nietzsche: tudo o que é decisivo só nasce apesar de. O que é igualmente verdadeiro tanto no mundo do pensamento como no mundo

da acção. Toda a verdade nova nasce apesar da evidência, toda a experiência nova nasce apesar da experiência imediata.

Assim, independentemente dos conhecimentos que se amontoam e trazem mudanças progressivas dentro do pensamento científico, vamos encontrar uma razão de renovação quase inesgotável para o espírito científico, uma espécie de novidade metafísica essencial. Com efeito, se o pensamento científico pode actuar em dois termos opostos, indo do euclidiano ao não-euclidiano, por exemplo, está como que marginado por uma área de renovação. Se se julgar que há aí somente meios de expressão, linguagens mais ou menos cómodas, dar-se-á muito pouca importância a esse florescimento de línguas novas. Mas, se se acreditar, como tentaremos justificá-lo, que tais expressões são mais ou menos expressivas, mais ou menos sugestivas, e que elas conduzem a realizações mais ou menos completas, será preciso atribuir todo um outro peso a essas matemáticas alargadas. Insistiremos pois no valor dilemático das novas doutrinas como a geometria não-euclidiana, a medida não-arquimediana, a mecânica não-newtoniana com Einstein, a física não-maxwelliana com Bolir, a aritmética de operações não-comutativas que se poderia designar como não-pitagórica. Tentaremos, então, na conclusão filosófica do nosso trabalho, apresentar as características de uma epistemologia não-cartesiana que nos parece consagrar verdadeiramente a novidade do espírito científico contemporâneo.

Uma observação é, de resto, útil para prevenir um equívoco: não há nada de automático nestas negações e não deverá esperar-se encontrar uma espécie de conversão simples que possa fazer com que as novas doutrinas entrem logicamente no quadro das antigas. Trata-se de facto de uma verdadeira extensão. A geometria não-euclidiana não se faz para contradizer a geometria euclidiana. É antes uma espécie de factor adjunto que permite a totalização, o acabamento do pensamento geométrico, a absorção numa pangeometria. Constituída como guarnição da geometria euclidiana, a geometria não-euclidiana desenha de fora, com uma luminosa precisão, os limites do pensamento antigo. O mesmo acontecerá com todas as formas novas do pensamento científico que vêm a posteriori projectar uma luz recorrente sobre as obscuridades dos conhecimentos incompletos. Ao longo da nossa investigação, encontraremos os mesmos caracteres de extensão, de inferência, de indução, de generalização, de complemento, de síntese, de totalidade, todos eles substitutos da ideia de novidade. E essa novidade é profunda, porque não é a novidade de uma descoberta, mas a novidade de um método.

Perante esta florescência epistemológica, será preciso continuar a falar de uma Realidade longínqua, opaca, compacta,

irracional? Isso seria esquecer que o Real científico está já em relação dialéctica com a Razão científica. Depois de um diálogo que dura há tantos séculos entre o Mundo e o Espírito, já se não pode falar de experiências mudas. Para interditar radicalmente as conclusões de uma teoria, é preciso que a experiência nos exponha as razões da sua oposição. O físico não é facilmente desencorajado por uma -experiência negativa. Michelson morreu sem, encontrar as condições que, na sua opinião, teriam levado a bom termo a sua experiência relativa à detecção do éter. Fundamentados exactamente nessa experiência negativa, outros físicos decidiram subtilmente que tal experiência negativa no sistema de Newton era positiva no sistema de Einstein. Realizaram precisamente, no plano da experiência, a filosofia do porque não. Assim, uma experiência bem feita é sempre positiva. Mas esta conclusão não reabilita a positividade absoluta da experiência sem mais, porque uma experiência só pode ser uma experiência bem feita se for completa, o que só acontece no caso da experiência precedida de um projecto bem estudado a partir de uma teoria acabada. Finalmente, as condições experimentais são condições de experimentação. Este simples matiz dá um aspecto inteiramente novo à filosofia científica, pois põe a tónica nas dificuldades técnicas que se deparam para realizar um projecto teórico preconcebido. Os ensinamentos da realidade só são válidos na medida em que sugerem realizações racionais.

Assim, a partir do momento em que se medita na acção científica, apercebemo-nos de que o realismo e o racionalismo trocam entre si infindavelmente os seus conselhos. Nem um nem outro isoladamente basta para constituir a prova científica; no reino das ciências físicas não há lugar para uma intuição do fenómeno que designaria de uma só vez os fundamentos do real; também não há lugar para uma convicção racional - absoluta e definitiva-que imporia categorias fundamentais aos nossos métodos de pesquisas experimentais. Estamos perante uma razão de novidade metodológica que teremos de clarificar; as relações entre a teoria e a experiência são tão estreitas que nenhum método, quer experimental, quer racional, tem a garantia de conservar o seu valor. Podemos mesmo ir mais longe: um método excelente acaba por perder a sua fecundidade se não se renovar o seu objecto.

É, pois, bem na encruzilhada dos caminhos que deve colocar-se o epistemólogo, entre o realismo e o racionalismo. É aí que ele pode captar o novo dinamismo destas filosofias contrárias, o duplo movimento pelo qual a ciência simplifica o real e complica a razão. Temos então encurtado o percurso que vai da realidade explicada ao pensamento aplicado. É nesse curto

trajecto que se deve desenvolver toda a pedagogia da prova, pedagogia que é, como apontaremos no nosso último capítulo, a única psicologia possível do espírito científico.

De uma maneira ainda mais geral, não haverá um certo interesse em levar o problema metafísico essencial da realidade do mundo exterior para o próprio domínio da realização científica? Por que razão partir sempre da oposição entre a Natureza vaga e o Espírito fruste e confundir sem discussão a pedagogia da iniciação com a psicologia da cultura? Por que audácia, saindo do eu, se vai recriar o Mundo numa hora? Como pretender também captar um eu simples e despojado, fora inclusive da sua acção essencial no conhecimento objectivo? Para nos desinteressarmos destas questões elementares, bastar-nos-á substituir os problemas da ciência pelos problemas da psicologia do espírito científico, encarar a objectividade como uma tarefa pedagógica difícil e não já como um dado primitivo.

Aliás, é talvez na actividade científica que se vê mais claramente o duplo sentido do ideal de objectividade, o valor ao mesmo tempo real e social da objectivação. Como diz Lalande, a ciência não visa apenas «a assimilação das coisas entre si, mas também e acima de tudo a assimilação dos espíritos entre si». Sem esta última assimilação, não haveria problema, por assim dizer. Em face do real mais complexo, se estivéssemos entregues a nós próprias, seria do lado do pitoresco, do poder evocador, que procuraríamos o conhecimento: o mundo seria representação nossa. Em contrapartida, se estivéssemos inteiramente entregues à sociedade, seria do lado do geral, do útil, do combinado, que procuraríamos o conhecimento: o mundo seria convenção nossa. Com efeito, a verdade científica é uma predição, ou melhor, uma predicação. Nós chamamos os espíritos à convergência anunciando a novidade científica, transmitindo ao mesmo tempo um pensamento e uma experiêndia, ligando o pensamento à experiência numa verificação: o mundo científico é, pois, verificação nossa. Acima do sujeito, para além do objecto imediato, a ciência moderna baseia-se no projecto. No pensamento científico, a meditação do objecto por parte do sujeito assume sempre a forma do projecto.

Enganar-se-ia, de resto, quem argumentasse a partir da raridade da descoberta efectiva, ao longo' do esforço prometeico. Porque é mesmo no mais modesto pensamento científico que se manifesta essa preparação teórica indispensável. Num livro anterior, não hesitávamos em escrever: o real demonstra-se, não se mostra. O que é verdade principalmente quando se trata de estabelecer um fenómeno orgânico. Efectivamente, desde que o objecto se apresente como um complexo de relações, é preciso captá-lo por métodos múltiplos. A objectividade não pode des-

ligar-se dos caracteres sociais da prova. Só se pode chegar à objectividade expondo de uma maneira discursiva e pormenorizada um método de objectivação.

Mas esta tese da demonstração prévia, que cremos na base de todo o conhecimento objectivo, como ela é evidente no domínio científico! Já a observação tem necessidade de um corpo de precauções que levam a reflectir antes de observar, que reconstituem, pelo menos, a primeira visão, de modo que nunca é a primeira observação que é a boa. A observação científica é sempre uma observação polémica; ela confirma ou infirma uma tese anterior, uni esquema prévio, um plano de observação; mostra demonstrando; hierarquiza as aparências; transcende o imediato; reconstrói o real depois de ter reconstruído os seus esquemas. Naturalmente a partir do momento em que se passa da observação à experimentação, o carácter polémico do conhecimento toma-se ainda mais nítido. Nesse caso é preciso que o fenómeno seja catalogado, filtrado, depurado, vertido no molde dos instrumentos, produzido com base no plano dos instrumentos. Ora os instrumentos não são mais que teorias materializadas. Dai saem fenómenos que trazem em todo o lado a marca teórica.

Entre o fenómeno científico e o númeno científico, já não se verifica pois unia dialéctica longínqua e ociosa, mas um movimento alternativo que, após algumas rectificações dos projectos, tende sempre a uma realização efectiva do númeno. A verdadeira fenomenologia científica é portanto essencialmente uma fenomenotécnica. Reforça o que transparece por detrás do que aparece. Instrói-se através daquilo que constrói. A razão taumaturga desenha os seus quadros sobre o esquema dos seus milagres. A ciência suscita um mundo, não já por um impulso mágico, ímanente à realidade, mas sim por um impulso racional, imanente ao espírito. Depois de ter formado, nos primeiros esforços do espírito científico, uma razão à imagem do mundo, a actividade espiritual da ciência moderna dedica-se a construir um mundo à imagem da razão. A actividade científica realiza, em todo o sentido da palavra, conjuntos racionais.

É talvez nesta actividade da ideia técnica que se apreende todo o alcance da dicotomia filosófica essencial, resumida no segundo dilema metafísico de Renouvier sob o nome de dilema da substância. Tal dilema é de uma importância decisiva porque arrasta consigo todos os outros. Renouvier enuncia-o assim: ou «a substância é... um sujeito lógico de qualidades e de relações indefiníveis», ou «a substância é um ser em si e, enquanto em si, indefinível, incognoscível» (1). Ora, entre os dois termos

(1) Renouvier, Les dilemmes de la métaphysique pure, p. 248.

do dilema, a ciência técnica vem introduzir, parece-nos, um terceiro termo: o substantivo substancializado. De uma maneira geral, o substantivo, sujeito lógico, torna-se substância a partir do momento em que o sistema das suas qualidades é unificado por uma função. Veremos que o pensamento científico constitui assim as totalidades que tomarão uma unidade por funções decisivas. Por exemplo, um agrupamento de átomos numa substância da química orgânica obtida por síntese é muito apropriado para nos fazer compreender essa passagem da química lógica à química substancialista, do primeiro sentido renovierista ao segundo. Assim, a dialéctica da ciência física, pelo próprio facto de actuar entre dois polos mais aproximados, menos heterogêneos, parece-nos mais instrutiva que as dialécticas compactas da filosofia tradicional. É na verdade o pensamento científico, que permite estudar mais claramente o problema psicológico da objectivação.

11

Captar o pensamento científico contemporâneo na sua dialéctica e mostrar assim a sua novidade essencial, tal é o objectivo filosófico deste pequeno livro. O que nos impressionou, acima de tudo, foi que a unidade da ciência, alegada com tanta frequência, nunca correspondia a um estado estável e que, conseqüentemente, era muito perigoso postular uma epistemologia unitária. Não apenas a história científica faz aparecer um ritmo alternativo de atomismo e de energética, de realismo e de positivismo, de descontínuo e de contínuo, de racionalismo e de empirismo, não apenas a psicologia do sábio oscila, no seu esforço quotidiano, entre a identidade das leis e a diversidade das coisas, mas ainda é sobre cada tema que o pensamento científico se divide de direito e de facto. Não tivemos portanto nenhuma dificuldade em acumular os capítulos que ilustram esta dicotomia. Poderíamos mesmo fragmentá-los, e então, em cada uma das suas características, a Realidade científica aparecer-nos-ia como o ponto de convergência de duas perspectivas filosóficas, estando uma rectificação empirica sempre ligada a uma precisão teórica; assim, purifica-se um corpo químico precisando a sua função química; será na proporção em que esta função for nítida que o corpo que ela caracteriza será puro.

Esta dialéctica a que nos convida o fenómeno científico porá um problema metafísico ao espírito de síntese? Trata-se de uma questão que não fomos capazes de resolver claramente.

17

NCE-2

Naturalmente, sobre todas as questões em litígio, apontámos as condições da síntese todas as vezes que uma conciliação, quer experimental, quer teórica, parecia possível. Mas tal conciliação pareceu-nos sempre um compromisso. De resto, e é esse para nós o ponto essencial, essa conciliação não apaga o dualismo inscrito na história da ciência, em todo o desenvolvimento pedagógico, no próprio pensamento. Dualidades de aspecto no fenómeno imediato poderiam talvez apagar-se: pôr-se-iam à conta de pormenores fugazes, de ilusões momentâneas, o que contradiz a identidade do fenómeno. Não pode acontecer o mesmo quando se encontra a marca dessa ambiguidade no fenómeno científico. Na altura própria proporemos uma espécie de pedagogia da ambiguidade para dar ao espírito científico a flexibilidade necessária à compreensão das novas doutrinas. Assim, parece-nos que devem ser introduzidos na filosofia científica contemporânea princípios epistemológicos verdadeiramente novos. Tal seria, por exemplo, a ideia de que os caracteres complementares devem ser inscritos na essência do ser, em ruptura com essa tácita crença de que o ser é sempre o sinal da unidade. Com efeito, se o ser em si é um princípio que se comunica ao espírito - do mesmo modo que um ponto material entra em relação com o espaço por um campo de acção -- não poderá ser o símbolo de uma unidade. Conviria pois fundar uma ontologia do complementar menos asperamente dialéctica que a metafísica do contraditório. o

III

Sem pretender, bem entendido, estabelecer a metafísica que deve servir de base à Física moderna, pode-se procurar libertar a flexibilidade das filosofias usuais perante a Realidade de laboratório. Com toda a evidência, o sábio já não pode ser realista ou racionalista à maneira dos filósofos que julgavam poder colocar-se de chofre perante o Ser apreendido, ou na sua proximidade externa, ou na sua unidade íntima. Para o sábio, o Ser não é captado num bloco nem pela experiência nem pela razão. É preciso, pois, que a epistemologia dê conta da síntese mais ou menos móvel da razão e da experiência, mesmo que essa síntese se apresentasse filosoficamente como um problema desesperado.

Estudaremos em primeiro lugar, num primeiro capítulo, a separação dialéctica do pensamento e a síntese subsequente, colocando-nos na origem da geometria não-euclidiana. Faremos esse capítulo o mais curto possível, dado que o nosso objec-

tivo é simplesmente apresentar, sob a forma mais simples e mais pura, o jogo dialéctico da razão.

Procuraremos, em segundo, lugar evocar, sempre no mesmo espírito de instrução dialéctica, o aparecimento da mecânica não-newtoniana.

Trataremos seguidamente de questões menos gerais e mais difíceis. Abordaremos sucessivamente os problemas dilemáticos seguintes: Matéria e Irradiação - Corpúsculos e Ondas -

Determinismo e Indeterminismo.

Veremos que este último dilema perturba profundamente a nossa concepção do real e dá a tal concepção uma estranha ambivalência. Poderemos então perguntar-nos se a epistemologia cartesiana, toda ela apoiada na referência às ideias simples, pode bastar para caracterizar o pensamento científico actual. Veremos que o espírito de síntese que anima a ciência moderna tem, ao mesmo tempo, toda uma outra profundidade e liberdade diferente da composição cartesiana. Tentaremos mostrar que esse espírito de ampla e livre síntese põe em acção o mesmo jogo dialéctico que o jogo inicial das geometrias não-euclidianas. Intitularemos portanto esse capítulo de conclusão: a epistemologia não-cartesiana.

Aproveitaremos todas as ocasiões para insistir, de página a página, no carácter inovador do espírito científico contemporâneo. Muitas vezes esse carácter inovador será suficientemente marcado pela simples aproximação de dois exemplos, um dos quais será tirado da física do século XVIII ou XIX e o outro do século XX. Deste modo, ver-se-á que tanto no pormenor dos conhecimentos como na estrutura geral do saber, a ciência física contemporânea apresenta-se com uma incontestável novidade.

OS DILEMAS DA FILOSOFIA GEOMÉTRICA

Não podemos esperar delinear num curto capítulo, e sob uma forma elementar, a prodigiosa evolução da filosofia geométrica desde há um século. Entretanto, como a dialéctica e a síntese são mais claras, mais sistemáticas no pensamento geométrico que em todo o outro pensamento científico, temos de tentar caracterizar, deste ponto de vista dialéctico e sintético, a divisão e o alargamento do pensamento geométrico. Para isso devemos examinar sucessivamente dois problemas, sublinhando a reforma psicológica que implicam.

1.º Temos de pôr em evidência o jogo dialéctico que fundamentou o não-euclidismo, jogo esse que equivale a abrir o racionalismo, a afastar essa psicologia de uma razão fechada, encerrada em axiomas imutáveis;

2.º Temos de apontar as condições da síntese entre as diferentes geometrias, o que nos levará a estabelecer, em primeiro lugar, os temas de correspondências entre as geometrias e, em segundo lugar, as características da ideia de grupo.

Como esta ideia de grupo faz pouco a pouco o seu aparecimento na mecânica e na física, seremos levados a examinar, de um ponto de vista muito sintético, a coerência experimental e teórica do pensamento geométrico. Parece-nos que o problema epistemológico posto pelo emprego das geometrias não-euclidianas na Física Matemática difere grandemente do pro-

blema lógico primitivo. A este respeito, «o erro filosófico» de Poincaré parece-nos fornecer uma medida da reforma psicológica realizada pelo novo século científico. Exporemos pois esse

«erro» no terceiro parágrafo deste capítulo.

Antes de chegar ao período de perturbação, evoquemos primeiro a longa unidade do pensamento geométrico: a partir de Euclides e durante dois mil anos, a geometria recebe sem dúvida numerosos acrescentos, mas o pensamento fundamental permanece o mesmo, e podemos supor que este pensamento geométrico fundamental constitui o âmago da razão humana. É sobre o carácter imutável da arquitectura da geometria que Kant fundamenta a arquitectura da razão humana. Se a geometria se divide, o karítismo só pode ser salvo inscrevendo princípios de divisão na própria razão, abrindo o racionalismo. E verdade que um hegelianismo matemático seria um contra-senso histórico; não podemos deixar de ficar impressionados pelo facto de as tendências dialécticas aparecerem quase ao mesmo tempo na filosofia e na ciência. Há uma espécie de destino da razão humana. Como diz Halsted, «a descoberta da geometria não-euclidiana, por volta de 1830, era inevitável». Vejamos rapidamente como é que essa descoberta se prepara no final do século XVIII, sem que, de resto, seja inicialmente apreendida a

natureza epistemológica do problema.

Efectivamente, d'Alembert considera o postulado de Euclides relativo ao paralelismo como um teorema a demonstrar. Que tal teorema corresponde a uma verdade, a um facto matemático, ninguém duvida disso. Por outras palavras, para todos os geónietras até ao fim do século XVIII, as paralelas existem a experiência comum legítima essa noção tanto directamente, como pelas suas consequências indirectas. O que parece falhar, o que constitui escândalo, é que se tenha podido ainda coordenar esse teorema simples com o conjunto dos teoremas demonstrados. Nunca se põe em dúvida a existência das paralelas. Também aqui o realismo prematuro é um desconhecimento profundo da natureza do problema.

Tal desconhecimento persiste mesmo quando se abre a via da descoberta. Assim, é ainda perante um teorema a demonstrar, uma verdade a estabelecer, um facto a legitimar, que se colocam Saccheri e Lambert no século XVIII, Taurinus e de Tilly

muito mais tarde, no século XIX. Mas, entretanto, o elemento da dúvida essencial faz com eles o seu aparecimento, embora essa dúvida não seja inicialmente mais que uma espécie de método. Estes matemáticos perguntam-se, de facto, o que aconteceria se se abandonasse ou se se modificasse a noção de paralela.

O seu método ultrapassa ligeiramente o alcance de um raciocínio pelo absurdo. Com efeito, Lambert não se limita a coordenar as conclusões extravagantes -reconhecendo, por exemplo, a influência de uma modificação da proposição euclidiana sobre a superfície do triângulo - mas entrevê ainda que a lógica pode ser satisfeita por um desenvolvimento não-euclidiano prolongado; encontra a prova disso na analogia das rectas contidas num plano e dos grandes círculos contidos numa superfície esférica. Num e noutro caso, vários teoremas se encadeiam da mesma maneira. Assiste-se portanto à constituição de uma cadeia lógica independente da natureza dos elos que a compõem. De um modo ainda mais preciso, Taurinus observa que «os grandes círculos sobre a esfera têm propriedades muito semelhantes às das rectas no plano, à parte a propriedade expressa no sexto postulado de Euclides: duas rectas não podem encerrar um espaço» (1), sendo este último postulado tomado muitas vezes como uma forma equivalente do postulado clássico sobre a paralela.

Estas simples observações, estas formas muito primárias de não-euclidismo, permitem-nos já estabelecer a ideia filosófica geral da nova liberdade matemática. Efectivamente, podemos já dar-nos conta de que o papel das entidades tem primazia sobre a sua natureza e que a essência é contemporânea da relação. Assim, compreender-se-á o problema posto pelo postulado de Euclides, quando se considerar verdadeiramente o papel das rectas num plano e não já a sua natureza de absoluto ou de ser, quando se souber, variando a aplicação, generalizar a função da noção de recta num plano, quando nos instrairmos sobre * prolongamento das noções fora do seu domínio de base. Então * simplicidade não será já, como afirma a epistemologia cartesiana, a qualidade intrínseca de uma noção, mas apenas uma propriedade extrínseca e relativa, contemporânea da aplicação, apreendida numa relação particular. Poder-se-ia dizer de uma maneira paradoxal que o ponto de partida do não-euclidismo reside na depuração de uma noção pura, na simplificação de uma noção simples. Com efeito, aprofundando a observação de Taurinus, chegamos a perguntar-nos se a recta com paralela não corresponderá a uma recta especial, a uma recta demasiado

(1) Barbarin, La géométrie non-euclidienne, 3.1 ed., p. 8.

rica, numa palavra, a uma noção já composta, dado que, do ponto de vista funcional, o grande círculo, análogo na esfera à recta no plano, não tolera o paralelismo. É precisamente o que exprime Barbarin ao lembrar que já em 1826 Taurinus formulava a opinião de que «se o quinto postulado de Euclides não é verdadeiro, é porque há provavelmente superfícies curvas nas quais certas linhas curvas têm propriedades análogas às das rectas no plano, à parte a propriedade enunciada no quinto postulado, pressentimento ousado que a descoberta da pseudo-esfera por Beltrami, quarenta anos mais tarde, viria a justificar» (1). Consequentemente, quando se considerarem as rectas como as geodésicas de um plano euclidiano, não se fará mais que voltar a esta ideia directriz de Taurinus que consiste em pôr as noções matemáticas numa atmosfera de mais ampla extensão - e correlativamente de menor compreensão - e em só admitir as noções pelo seu papel funcional, estritamente definido.

De resto, não há que ter pressa em fazer passar o realismo matemático da linha para a superfície e imaginar que é só a pertença de uma linha a uma superfície que dá realidade à linha.

O problema do realismo matemático é mais oculto, mais indirecto, mais distante, mais abstracto. Dir-se-ia mais exactamente que a realidade de uma linha se reforça pela multiplicidade das suas pertenças a superfícies variadas, melhor ainda que a essência de uma noção matemática se mede nas possibilidades de deformação que permite alargar a aplicação dessa noção. De um modo geral, é o que se encontra de verdadeiramente idêntico nas mais diversas aplicações, que pode servir de fundo para a definição da realidade material. Sucede exactamente o mesmo quando se vai à procura da realidade matemática. Um aspecto deve, nesse caso, ser aqui sublinhado: é que a medida do realismo matemático se faz com base na extensão das noções mais do que com base na sua compreensão; a linha geodésica tem mais realidade que a linha recta. O pensamento matemático ganha o seu incremento com a aparecimento das ideias de transformação, de correspondência, de aplicação variada. Ora não será no jogo dialéctico que a extensão atinge o seu ponto máximo e que a transformação une as formas mais estranhas? É por meio desse maquinismo que o espírito pode medir o seu domínio sobre a realidade matemática. Ponhamos, pois, em evidência a partir de agora o que há de decisivo na revolução não-euclidiana.

Comparadas com as pesquisas de Lambert, as construções de Lobatchewsky e de Bolyai apresentam-se numa dialéctica mais franca, porque a cadeia dos teoremas que decorrem da

(1) Barbarin, loc. cit, p. 7.

escolha não-euclidiana do axioma das paralelas alarga-se cada vez mais e liberta-se da direcção das analogias. Pode dizer-se que, durante vinte e cinco anos, Lobatchewsky ocupou-se sobretudo em alargar a sua geometria mais do que em fundamentá-la. Também é verdade que só se poderia fundamentá-la alargando-a. Parece que Lobatchewsky pretende provar o movimento, caminhando. Podia ele rebater uma contradição manifesta prolongando assim as deduções a partir de uma suposição que se podia desde logo qualificar de absurda? Eis uma questão que levanta inúmeros problemas, nas fronteiras da epistemologia e da psicologia. Em estrita posição epistemológica, tem-se o costume de expor a origem do não-euclidismo da seguinte maneira:

Dado que não se consegue demonstrar directamente a proposição de Euclides, tomemo-la como uma verdade a estabelecer por absurdo. Substituamos pois essa proposição pela proposição contrária. Tiremos conclusões do quadro dos postulados assim modificado. Tais conclusões não podem deixar de ser contraditórias. Então o, dado que o raciocínio está correcto, é a proposição tomada como base que está errada. É preciso pois restabelecer a proposição de Euclides, que assim se torna válida.

Ora este resumo epistemológico parece bem depressa não primar pela fidelidade quando se percorre a Pangeometria de 1855. Com efeito, não apenas não nos apercebemos de que a contradição não aparece, como ainda não tardamos em sentir-nos perante uma dedução aberta. Enquanto que um problema tratado pela via do absurdo se dirige bastante rapidamente para uma conclusão em que o absurdo se manifesta, o trabalho dedutivo saldo da dialéctica lobatchewskiana implanta-se cada vez mais solidamente no espírito do leitor. Psicologicamente falando, não há mais razão para esperar a contradição com Lobatchewsky que com Euclides. Esta equivalência será sem dúvida estabelecida tecnicamente, em seguida, graças aos trabalhos de Klein, de Poincaré; mas ela funciona já no campo psicológico. Verifica-se aí apenas um débil cambiante, menosprezado pelos filósofos que julgam com base nos resultados definitivos. Entretanto, se se quiser compreender o espírito científico na sua dialéctica nova, é preciso viver essa dialéctica no plano psicológico, como uma realidade psicológica, informando-se no que respeita à formação primeira dos pensamentos complementares.

Em resumo, todo o psicólogo do espírito científico deve viver efectivamente este estranho desdobramento da personalidade geométrica que se efectuou no decurso do século passado na cultura matemática. Compreender-se-á então que as teses mais ou menos cépticas do «convencionalismo matemático» traduzem muito mal a dialéctica violenta dos diversos pensamentos geométricos.

Naturalmente, os problemas que dizem respeito à generalidade das noções matemáticas apresentam-se sob um aspecto inteiramente diferente quando se viveu a dialéctica geométrica essencial. Numa carta dirigida a Tilly em 1870, Houël caracteriza essa generalidade por uma engenhosa comparação analítica(?): «Os euclidianos julgaram que se negava a sua geometria, quando o que se fazia era generalizá-la, já que Lobatchewsky e Euclides podem muito bem harmonizar-se conjuntamente. A geometria generalizada... é um método análogo ao que seguiria um analista que, tendo acabado de encontrar a integral geral da equação diferencial de um problema, discutisse essa integral antes de particularizar a constante de acordo com os dados do problema, o que não seria de modo nenhum negar que a constante arbitrária deva receber finalmente este ou aquele valor particular. Quanto aos euclidianos antiquados, àqueles que procuram as demonstrações do Postulatum, não posso compará-los melhor que àqueles que procurassem na própria equação diferencial a determinação da constante de integração.» Excelente comparação esta que dá uma ideia do valor sintético da axiomática: uma equação diferencial obtém-se eliminando as constantes arbitrárias; a sua integral geral condensa todas as possibilidades; a pangeometria elimina as suposições arbitrárias, ou antes, neutraliza-as pelo simples facto de que tenta apresentar um quadro sistemático de todas as suposições. Procede de um pensamento complementar. Encontrar-se-á a geometria euclidiana, no seu lugar, num conjunto, como um caso particular.

A multiplicidade das geometrias contribui de algum modo para desconcretizar cada uma delas. O realismo passa de uma delas para o conjunto. Depois de ter mostrado o papel inicial da dialéctica no pensamento geométrico, temos pois de estudar o carácter sintético e coerente que é próprio das dialécticas exactas e completas.

11

Esta coerência, que é a única base possível do realismo, só a encontraremos elaborando uma forma particular, multiplicando, por exemplo, os esforços de intuição sobre um problema euclidiano. Devemos procurá-la naquilo que há de comum

(1) Ver Bulletin des sciences mathématiques, Fev. de 1926, p. 53.

26

nas geometrias contrárias. É preciso estudar a correspondência estabelecida entre essas geometrias. É fazendo corresponder as

geometrias que o pensamento matemático capta uma realidade. Deste modo, conhece-se a forma matemática pelas suas transformações. Poder-se-ia dizer ao ser matemático: diz-me como te transformam e dir-te-ei quem és. Como se sabe, a equivalência das diversas imagens geométricas foi definitivamente estabelecida quando se verificou que umas e outras correspondiam a

uma mesma forma algébrica. Uma vez fixada essa correspondência, não era mais de temer uma contradição no sistema de Lobatchewsky que no sistema de Euclides, dado que uma contradição geométrica, fosse de que origem fosse, repercutir-se-ia na forma algébrica e, a partir daí, em todas as outras geometrias em correspondência. A chave da evidência é portanto a forma algébrica. Em suma, a álgebra acumula todas as relações e nada mais que as relações. É enquanto relações que as diversas geometrias são equivalentes. É enquanto relações que elas têm uma realidade e não por referência a um objecto, a uma experiência, * uma imagem da intuição. Tentemos pois mostrar, por um lado, * desconcretização das noções de base e, por outro, a concretização das relações entre estas noções descoloridas.

No que se refere ao primeiro processo, refiramo-nos a páginas profundas que Juvet escreveu sobre a axiomática(1). Juvet refere primeiro que a física parte de noções muito afastadas da experiência imediata e mostra que essas noções são progressivamente depuradas, esquematizadas, muito longe de serem intuitivamente enriquecidas pelo pensamento teórico. A física chega assim às suas teorias mais evoluídas e mais completas reduzindo a compreensão das noções à justa medida dos atributos visíveis na sua extensão. «Foi despojando ainda mais estas noções dos seus atributos que foi possível evitar essas antinomias provenientes das compreensões demasiado ricas que primeiro se lhes atribuíam.» Para a geometria, esse despojamento vai tão longe que se propôs proscrever toda a evocação da experiência, e Juvet lembra o ponto de partida da axiomática de Hilbert:

«Há três categorias de objectos que denominaremos, a primeira, A,B,C..., a segunda, a,b,c..., e a terceira, oc,@,y... Verifica-se mais tarde que as letras maiúsculas representam os pontos, as minúsculas, as rectas, e as letras gregas, os planos da geometria elementar.» (Loc. cit., p. 158.) Tomaram-se, de facto, todas as precauções para que a compreensão dos objectos seja, se assim se pode dizer, uma compreensão por cima e não por baixo, como o era a compreensão de origem substancial. Ainda

(1) Juvet, La structure des nouvelles théories physiques, 1933, p. 157.

por outras palavras, trata-se de qualidades unicamente relacionais e de modo nenhum substanciais.

Mas se não são os objectos que possuem em si a raiz das relações, se esses objectos só mais tarde recebem propriedades com as relações impostas, devemos perguntar-nos com tanto maior cuidado donde provêm essas relações. Aqui reina ainda uma grande contingência, já que a independência dos postulados encarregados de ligar os objectos deve ser absoluta e que todo o postulado deve poder ser substituído pelo postulado contrário. Uma relação única não pode portanto fornecer a base de um realismo, a partir do momento em que nos coibimos de tirar de uma realidade substancial, seja ela qual for, a obrigação de preferir uma relação à relação contrária. Entretanto, se um amontoado de relações manifesta uma coerência, esse pensamento de coerência irá pouco a pouco ser reforçado com uma necessidade de complemento que determinará acrescentos. Há aqui um processo sintético que tende a completar o corpo das relações: é então que o pensamento geométrico dá a impressão de uma totalidade e é então apenas que a coerência do pensamento parece reforçar-se numa coesão objectiva. É esse o ponto em que aparece o real matemático. Esse real não é de modo nenhum contemporâneo dos «objectos primeiros», nem sequer das relações tomadas uma a uma. Mas quando as relações já numerosas reclamam um complemento, pode captar-se em acção a função epistemológica, essencial a toda a realização.

Com efeito, o que é a crença na realidade, o que é a ideia de realidade, qual é a função metafísica primordial do real? É essencialmente a convicção de que uma entidade ultrapassa o seu dado imediato, ou, para falar com maior clareza, é a convicção de que se encontrará mais no real escondido que no dado evidente. Naturalmente, é no domínio matemático que esta função realizadora actua com maior delicadeza; é nesse domínio que ela é mais difícil de identificar, mas é também aí que seria mais instrutivo apreendê-la. Partamos pois do nominalismo hilbertiano; aceitemos por um instante o formalismo absoluto; todos esses belos objectos da geometria, todas essas belas formas, apaguemo-las da nossa lembrança, as coisas passam a ser apenas letras! Sujeitemo-nos seguidamente a um convencionalismo absoluto: todas essas claras relações não são senão sílabas que se associam de uma maneira estritamente abracadabrante! E eis resumidas, simbolizadas, depuradas, todas as matemáticas! Mas aparece então o esforço poético dos matemáticos, o esforço criador, realizador: subitamente, por uma inflexão reveladora, as sílabas associadas formam uma palavra, uma verdadeira palavra, que fala à Razão e que encontra, na Realidade, uma coisa a evocar. Este súbito valor semântico é

de essência totalitária; aparece com a frase acabada, não com a raiz. Assim, no momento em que a noção se apresenta como uma totalidade, ela desempenha o papel de uma realidade. Ao ler algumas páginas do formulário de Peano, Poincaré queixava-se de que não compreendia o peano. Isso acontecia porque ele o tomava à letra na desconexão das convenções, como um vocabulário, sem querer empregá-lo realmente. Basta aplicar as fórmulas de Peano para sentir que elas reforçam o pensamento, que elas o arrastam regularizando-o, sem que se saiba bem onde reside a força de arrastamento psicológico porque a dialéctica da forma e da matéria actua mais profundamente do que se julga em todos os pensamentos. Em todo o caso essa força de arrastamento existe. Essa transcendência poética do peano seria sem dúvida difícil de explorar se não tivéssemos já vivido o pensamento matemático no plano da experiência comum. Como muito justamente observa Juvet (1), «ao construir uma axiomática, procura-se não ter o ar de utilizar aquilo que a ciência que se funda já apreendeu, mas na verdade é só a propósito de coisas conhecidas que se estabelece uma axiomática». Nem por isso deixa de ser verdade que o pensamento matemático novo corresponde a um desdobramento característico. Doravante, uma axiomática acompanha o desenvolvimento científico. Escreveu-se o acompanhamento depois da melodia, mas o matemático moderno toca com as duas mãos. Trata-se de um jogo inteiramente novo; exige planos de consciência diversos, um inconsciente aplicado mas actuante. É demasiado simples repetir incessantemente que o matemático não sabe do que fala; na realidade, ele finge não saber; tem de falar como se não soubesse; recalca a intuição; sublima a experiência. O euclidismo continua a ser o pensamento ingénuo, aquele que servirá sempre de base à generalização. É «aliás uma coisa extremamente notável, observa Buhl (2), que seja suficiente aprofundar ligeiramente certos aspectos da geometria euclidiana para ver surgir uma geometria e mesmo geometrias muito mais gerais.» Tomado nesta perspectiva de generalizações, o pensamento matemático apresenta-se como uma aspiração ao completo. É no completo que encontra a coerência e o sinal de uma objectivação acabada.

O traçado axiomático subjacente ao pensamento geométrico é ele próprio sustentado por um pensamento mais profundo que é, assim, a base primordial da psicologia matemática: essa

(1) Juvet, loc. cit, p. 162. (2) Buffi, Notes sur la géométrie non-euclidienne, apud Barbarin, loc. cit., p. 116.

base é a ideia de grupo. Toda a geometria - e sem dúvida mais generalizadamente toda a organização matemática da experiência - é caracterizada por um grupo especial de transformações. Nova prova de que o ser matemático é designado por critérios relativos a transformações. Quando se torna o exemplo da geometria euclidiana, encontramos-nos perante um grupo particularmente claro e simples - talvez seja tão claro que não se vê desde logo a sua importância teórica e experimental. Esse grupo é, como se sabe, o grupo dos deslocamentos. É pelo grupo dos deslocamentos que se define a igualdade de duas figuras, igualdade que é, com toda a evidência, a base da geometria métrica: duas figuras são definidas como iguais quando podem ser exactamente sobrepostas após o deslocamento de uma delas. Vê-se imediatamente que dois deslocamentos sucessivos podem ser substituídos por um só, que é denominado o produto dos dois primeiros. Naturalmente, uma qualquer série de quaisquer deslocamentos pode ser substituída por um só deslocamento. É essa a simples razão que faz com que os deslocamentos formem um grupo.

Tratar-se-á de uma verdade experimental ou de uma verdade racional? De resto, não será surpreendente que se possa pôr uma tal questão e colocar assim a ideia de grupo no centro da dialéctica da razão e da experiência? Temos, de facto, a prova de que a ideia de grupo ou, mais explicitamente, a ideia de composição das operações reunidas num grupo, é doravante a base comum da experiência física e da investigação racional. A Física Matemática, incorporando na sua base a noção de grupo, marca a supremacia racional. Há que compreendê-lo meditando na estrutura dessa primeira Física Matemática que é a geometria euclidiana. Como muito bem diz Juvet (1): «A experiência afirma... que tais deslocamentos não alteram as figuras; mas a axiomática demonstra esta proposição fundamental.» A demonstração leva a melhor sobre a verificação.

Enquanto não se associou um grupo a uma axiomática particular, não se está bem certo de que essa axiomática apresente uma tabela verdadeiramente completa dos postulados. «Se um grupo é representado por uma geometria, diz JUVet (2), a axiomática desta é não-contraditória, na medida em que os teoremas da Análise não são contestados. Por outro lado, a axiomática de uma geometria só será completa se for verdadeiramente a representação exacta de um grupo; enquanto não se tiver encontrado o grupo que a fundamenta em razão, ela é incompleta ou

(1) Juvet, loc. cit, p. 164. (2) Loc. cil, p. 169.

talvez já contraditória.» Por outras palavras, o grupo traz a prova de uma matemática fechada sobre si própria. A sua descoberta encerra a era das convenções, mais ou menos independentes, mais ou menos coerentes.

As invariâncias físicas apoiadas na estrutura dos grupos parecem-nos dar um valor racional, e não já realista, aos princípios de permanência que Meyerson luminosamente estabeleceu na base dos fenômenos físicos. Em todo o caso, é aí que a matematização do real se legitima verdadeiramente e constitui permanências orgânicas. É o que aponta ainda Juvet (1): «No fluxo impetuoso dos fenômenos, na realidade incessantemente movediça, o físico discerne permanências; para fazer a sua descrição, o seu espírito constrói geometrias, cinemáticas, modelos mecânicos, cuja axiomatização tem por fim precisar... o que, à falta de um melhor termo, denominaremos ainda a compreensão útil dos diferentes conceitos cuja construção a experiência ou a observação sugeriram. Se a axiomática assim edificada é a representação de um grupo cujas invariantes admitem como traduções, na realidade, as permanências que a experiência descobriu, a teoria física está isenta de contradições e é uma imagem da realidade.» E Juvet aproxima as considerações sobre os grupos das pesquisas de Curie sobre as simetrias. E conclui: temos aí, ao mesmo tempo, um método e uma explicação.

111

Como se vê, os esquemas abstractos, fornecidos pelas axiomáticas e grupos correspondentes, determinam a estrutura das diversas físicas matemáticas e há que remontar até aos grupos para ver as relações exactas dessas várias físicas. Em particular, a supremacia da geometria euclidiana não poderia ser mais legítima que a supremacia do grupo dos deslocamentos. De facto, este grupo é relativamente pobre; cedeu o lugar a grupos mais ricos, mais aptos a descrever racionalmente a experiência na sua subtileza. Compreende-se então o abandono total da opinião de Poincaré relativa à comodidade suprema da geometria euclidiana. Essa opinião parece-nos mais que um erro parcial e, ao meditar nela, encontramos mais que um conselho de prudência

(1) Loc. cit., p. 170.

31

lias previsões do destino da razão humana (1). Rectificando-a, chega-se a uma verdadeira inversão de valor no domínio racial e vê-se o papel primordial do conhecimento abstracto na física contemporânea. Recordemos pois brevemente a tese de Poincaré e assinalemos o carácter novo da epistemologia sobre este ponto particular.

Depois de Poincaré demonstrar a equivalência lógica das várias geometrias, afirmou que a geometria de Euclides contiliuaria a ser sempre a mais cómoda e que em caso de conflito entre esta geometria e a experiência física se deveria preferir sempre modificar a teoria física em vez de mudar a geometria elementar. Assim, Gauss pretendia experimentar astronomicamente um teorema de geometria não-euclidiana: ele perguntava-se se um triângulo assinalado nas estrelas e por conseguinte de uma enorme superfície, manifestaria a diminuição de superfície apontada pela geometria lobatchewskiana. Poincaré não admitia o carácter crucial de uma tal experiência. Se ela resultasse, dizia ele, decidir-se-ia desde logo que o raio luminoso sofre uma acção física perturbadora e que já não se propaga em linha recta. Em todo o caso, salvar-se-ia a geometria euclidiana.

No capítulo que dedicaremos à epistemologia não-cartesiana, tentaremos caracterizar este pensamento pela perturbação cuja clareza vemos aqui afirmada a priori. Em traços largos, este pensamento consiste em imobilizar a perspectiva da clareza intelectual, em imaginar que o plano dos pensamentos mais claros é sempre o primeiro a apresentar-se, que esse plano deve manter-se como o plano de referência e que todas as outras pesquisas se ordenam a partir do plano da clareza primordial. Nesta hipótese epistemológica, que método se atribui à ciência física? Esboça-se apressadamente a experiência nos seus traços gerais; enquadra-se a fenomenologia numa geometria elementar; instrói-se o espírito no manejo das formas sólidas, rejeitando a lição das transformações. Ganham-se então verdadeiros hábitos racionais. É portanto toda uma infra-estrutura euclidiana que se constitui no espírito submetido à experiência do sólido natural e manufacturado. É a partir deste inconsciente geométrico que se definem em seguida as perturbações da experiência física. Como muito bem diz Gonseth (2): «Os erros e as correcções são determinados na intenção - geralmente inconsciente - de tornar todo o sistema de medidas interpretável, com um desfasamento cada vez menor, pela geometria de Euclides.»

(1) Cf. Meyerson, *Le cheminement de la pensée*, t. 1, p. 69. (2) Gonseth, *Les fondements des mathématiques*, 1926, p. 101.

Mas esta estrutura geométrica, que se julgou para sempre característica da inteligência humana, será verdadeiramente definitiva? É o que hoje em dia se pode negar dado que a física contemporânea está efectivamente em vias de constituir-se com base em esquemas não-euclidianos. Bastou para isso que o físico abordasse um novo domínio com toda a independência de espírito, após uma psicanálise das seduções euclidianas. Este novo campo de instrução é a microfísica. Mostraremos seguidamente que a epistemologia correspondente não é coisista. Limitemo-nos aqui a sublinhar que o objecto elementar da microfísica não é um sólido. Com efeito, já não é possível considerar as partículas eléctricas, de que toda a matéria é formada, como verdadeiros sólidos. E não se trata de uma simples afirmação realística que não teria mais valor que as afirmações «coisistas» do atomismo realista. O físico moderno apresenta uma prova profunda da sua tese, uma prova muito característica do pensamento novo: a partícula eléctrica não tem a forma essencial do sólido porque se deforma no movimento. Apreciamo-la - como

se deve fazer - por uma transformação matemática, pela transformação de Lorentz, transformação essa que não admite o grupo dos deslocamentos característico da geometria euclidiana. A mentalidade euclidiana pretenderá, sem dúvida, interpretar geometricamente a física eléctrica, imaginará uma contracção particular; mas trata-se de um rodeio inútil e até arriscado, pois que não se consegue imaginar claramente essa contracção do pleno. É preferível voltar à perspectiva da clareza e julgar de algum modo as coisas de fora, partindo das necessidades matemáticas, implicadas pelo grupo fundamental. Assim, em vez de considerar antes de tudo o sólido indeformável entrevisto pela experiência despreocupada e grosseira e estudado na simples experiência deslocamentos euclidianos, a microfísica exercita-se na reflexão do comportamento do objecto elementar em acordo directo com a lei das transformações de Lorentz. Em seguida, é só como uma imagem simplificada - e já não simples - que a microfísica aceita, em casos particulares, a tradução euclidiana dos fenómenos. Ela vê claramente a mutilação, a diminuição, a pobreza funcionais dessa imagem simplificada. Psicologicamente, o físico contemporâneo dá-se conta de que os hábitos racionais nascidos no conhecimento imediato e na acção utilitária são outras tantas anquiloses que é preciso ultrapassar para encontrar o movimento espiritual da descoberta.

Se entretanto se continuasse a dar às razões de comodidade um certo peso, seria preciso dizer que na interpretação das experiências da microfísica, é muitas vezes a geometria riemaniana que é a mais cómoda, a mais clara. Mas é sobretudo a partir

do valor abstracto que é preciso julgar o debate. Não se trata de duas linguagens ou de duas imagens, nem tão pouco de duas realidades espaciais; o que está em jogo, são dois planos de pensamento abstracto, dois sistemas diferentes de racionalidade, dois métodos de investigação. Doravante, eis o guia do pensamento teórico: o grupo. A volta de um grupo matemático, pode sempre coordenar-se uma experiência. Este facto dá uma medida do valor realizador da ideia matemática. A velha dialéctica do euclidiano e do não-euclidiano repercute-se, portanto no domínio mais profundo da experiência física. E todo o problema do conhecimento científico do real que fica em causa pela escolha de uma matemática inicial. Quando se compreendeu bem

- acompanhando, por exemplo, os trabalhos de Gonsseth (ver loc. cit., p. 104) - que a experimentação está sob a dependência de uma construção intelectual anterior, procuram-se do lado do abstracto as provas da coerência do concreto. O quadro das possibilidades de experiência é então o quadro das axiomáticas. Tem-se portanto acesso à cultura físico-matemática, revivendo o nascimento da geometria não-euclidiana que foi a primeira ocasião da diversificação das axiomáticas.

A MECÂNICA NÃO-NEWTONIANA

Escrevemos há alguns anos um livro especial para estabelecer o carácter de novidade essencial das doutrinas relativistas. Insistimos principalmente no valor indutivo das novas matemáticas, mostrando em particular que o cálculo tensorial é um verdadeiro método de invenção. No capítulo presente, em que nos abstermos das referências às equações matemáticas, limitar-nos-emos a caracterizar as relações gerais do espírito científico newtoniano e do espírito científico einsteiniano.

No ponto de vista astronómico, a refundição do sistema einsteiniano é total. A astronomia relativista não sai de modo nenhum da astronomia newtoniana. O sistema de Newton era um sistema acabado. Corrigindo parcialmente a lei da atracção, clarificando a teoria das perturbações, havia numerosos meios para justificar o ligeiro avanço do periélio de Mercúrio assim como outras anomalias. Sob este aspecto, não era necessário subverter totalmente o pensamento teórico para adaptá-lo aos dados da observação. Vivíamos, de resto, no mundo newtoniano como numa mansão espaçosa e clara. O pensamento newtoniano era acima de tudo um tipo maravilhosamente límpido de pensamento fechado; dele só se podia sair por arrombamento.

Mesmo sob o aspecto simplesmente numérico, as pessoas enganam-se, cremos nós, quando vêem no sistema newtoniano uma primeira aproximação do sistema einsteiniano, porque as

subtilezas relativistas não decorrem de modo nenhum de uma aplicação apurada dos princípios newtonianos. Não pode pois dizer-se correctamente que o mundo newtoniano prefigura o mundo einsteiniano nas suas grandes linhas. E só depois, quando nos instalámos de chofre no pensamento relativista, que encontramos nos cálculos astronómicos da Relatividade -através de mutilações e abandonos -os resultados numéricos fornecidos pela astronomia newtoniana. Não há pois transição entre o sistema de Newton e o sistema de Einstein. Não se vai do primeiro para o segundo amontoando conhecimentos, tendo cuidados redobrados nas medidas, rectificando ligeiramente princípios. É preciso, pelo contrário, um esforço de novidade total. Percorre-se portanto uma indução transcendente e não urna indução ampliadora quando se vai do pensamento clássico para o pensamento relativista. I@aturalmente, depois desta indução pode-se, por redução, obter a ciência newtoniana. A astronomia de Newton é portanto em última análise um caso particular de Pan-astronomia de Einstein, tal como a geometria de Euclides é um caso particular da Pan-geometria de Lobatchewsky.

11

Mas, como é sabido, não foi a propósito da figura do Mundo, como astronomia geral, que a Relatividade conheceu o seu incremento. Ela nasceu de uma reflexão sobre os conceitos iniciais, de um pôr em dúvida ideias evidentes, de um desdobramento funcional das ideias simples. Por exemplo, que há de mais imediato, de mais evidente, de mais simples, que a ideia de simult-ineidade? As carruagens do comboio partem todas simultaneamente e os carris são paralelos: não estaremos perante uma dupla verdade que ilustra ao mesmo tempo as duas ideias primitivas de paralelismo e de simultaneidade? A Relatividade atacará no entanto a primitividade da ideia de simultaneidade, tal como a Geometria de Lobatchewsky atacou a ideia de paralelismo. Por uma súbita exigência, o fisico contemporâneo pedir-nos-á que associemos à ideia pura de simultaneidade a experiência que deve provar a simultaneidade de dois acontecimentos. Foi desta exigência inaudita que nasceu a Relatividade.

O Relativista provoca-nos: como é que se servem da vossa ideia simples? Como provam a simultaneidade? Como a conhecem? Como se propõem fazê-la conhecer a nós que não pertencemos ao vosso sistema de referência? Em resumo, como fazem funcionar o vosso conceito? Em que juízos experimentais

36

a implicam, já que, não será verdade que a implicação dos conceitos no juízo constitui o próprio sentido da experiência? E depois de termos respondido, depois de termos imaginado um sistema de sinais ópticos para que observadores diferentes possam admitir uma simultaneidade, o Relativista obriga-nos a incorporar a nossa experiência na nossa conceptualização. Ele recorda-nos que a nossa conceptualização é uma experiência. O mundo é então menos nossa representação que nossa verificação. Doravante, um conhecimento discursivo e experimental da simultaneidade deverá ser ligado à pretensa intuição que nos proporcionaria de chofre a coincidência de dois fenómenos no mesmo tempo. O carácter primitivo da ideia pura não é mantido; a ideia simples só é conhecida compositamente, pelo seu papel nos compostos em que se integra. Esta ideia, que se supunha primeira, não encontra uma base nem na razão nem na experiência. Como observa Brunsclivig (1) « ela não poderia ser nem definida logicamente pela razão suficiente, nem verificada fisicamente sob uma forma positiva. É no seu próprio fundo, uma negação; equivale a negar que seja preciso um certo tempo para a propagação da acção dos sinais. Damo-nos então conta de que a noção de tempo absoluto, ou mais exactamente, a noção da medida única do tempo, isto é, de uma simultaneidade independente do sistema de referência, deve a sua aparência de simplicidade e de realidade imediata unicamente a um defeito de análise».

Encontramos o mesmo principio crítico na base dos métodos mais recentes de Heisenberg. A propósito dos mais siniples conceitos como os que presidem à localização de um objecto no espaço, ser-nos-á imposta a mesma exigência experimental. Ser-nos-á recusado o direito de falar do lugar do electrão se não apresentarmos uma experiência para encontrar o electrão. Baldadamente, os realistas responderão que o encontramos onde ele está, abandonando-nos ao carácter imediaio, claro, simples da ideia de lugar; os partidários de Heisenberg farão notar que a procura de um objecto minúsculo é uma experiência delicada e que essa experiência, desde que seja precisa, desloca o objecto, dada a sua subtilidade. A experiência adere pois fortemente à definição do Ser. Toda a definição é uma experiência; toda a definição de um conceito é funcional. Trata-se, para Heisenberg tal como para Einstein, de uma espécie de desdobramento experimental das noções racionais. Tais noções deixam portanto de ser absolutas uma vez que estão em correlação com uma experiência mais ou menos precisa.

(1) Brunsclivig, L'expérience humaine et la causalité physique, p. 408.

Assim, mesmo noções de essência geométrica como a posição, a simultaneidade, devem ser apreendidas numa composição experimental. A reflexão rigorosa volta portanto de novo às origens experimentais da geometria. A física torna-se uma ciência geométrica e a geometria uma ciência física. Naturalmente, noções mais profundamente comprometidas na realidade material, como a massa, apresentar-se-ão, na ciência relativista, sob um aspecto mais compósito, sob uma pluralidade de espécies. Verifica-se uma oposição muito nítida do espírito novo ao espírito antigo. Tentemos estabelecer a sua importância filosófica.

Na ciência dos últimos séculos, a unidade da noção de massa, o seu carácter imediato e evidente, provinham da vaga intuição de quantidade de matéria. Tinha-se uma tal confiança no domínio concreto do espírito sobre a Natureza que as definições newtonianas pareciam a simples precisão de uma ideia vaga mas fundamentada. Assim, ao definir a massa newtoniana como o quociente de uma força por uma aceleração, supunha-se ler nesta definição o papel específico da substância do móvel que se opunha tanto mais à eficácia de uma força quanto mais matéria continha. Quando se era em seguida levado a definir a massa maupertuisiana como o quociente de uma impulsão e de uma velocidade, reencontrava-se a ajuda poderosa do mesmo pensamento vago, da mesma intuição nublada: também aí o ponto material opunha-se tanto mais à eficácia de uma simples impulsão quanto mais matéria continha. De uma maneira mais teórica, as fórmulas de dimensões pareciam provar que se tratava de facto, em ambos os casos, da mesma massa, do mesmo coeficiente de resistência e não surgia a dúvida de que pudesse haver uma diferença. Assim, a noção primeira de massa, bem fundamentada ao mesmo tempo numa teoria e numa massa, parecia dever escapar a toda a análise. Esta ideia simples parecia corresponder a uma natureza simples. Neste ponto a ciência parecia uma tradução imediata da realidade.

Ora, as fórmulas de dimensões, que fixam as relações das unidades entre si, não decidem tão soberanamente como por vezes se julgou sobre a natureza das entidades que elas caracterizam. Por outro lado, a reivindicação de um domínio imediato sobre o conceito é com frequência muito temerária. A Relatividade, neste ponto particular, vai ser simultaneamente mais realista e mais rica que a ciência anterior. Vai desdobrar uma noção simples, dar uma estrutura matemática a uma noção concreta. Com efeito, a Relatividade traz a prova de que a massa de um móvel é função da sua velocidade. Mas esta função não

é a mesma no caso da massa maupertuisiana e no caso da massa newtoniana. Estas duas massas só podem ser assimiladas em primeira aproximação. Estas duas noções só são semelhantes se se fizer abstracção da sua subtil estrutura nocional. As fórmulas de dimensões não podiam discriminar funções homogéneas quanto às velocidades e é precisamente o caso dos coeficientes de rectificação que só fazem intervir o quociente da velocidade do móvel e da velocidade da luz.

A Relatividade cindiu ainda a noção de massa tomada sob a definição puramente newtoniana. Levou efectivamente a distinguir entre a massa calculada ao longo da trajectória (massa longitudinal) e a massa calculada numa perpendicular à trajectória, como uma espécie de coeficiente de resistência à deformação da trajectória (massa transversal). Poder-se-á objectar que estas últimas distinções são artificiais, que correspondem a uma decomposição puramente vectorial. Mas é exactamente a possibilidade de tal artifício e de tal decomposição que é instrutiva. Ela mostra como a nova física matemática está afastada da mecânica clássica em que a massa tomada como unidade fundamental era colocada como um elemento necessariamente simples.

Naturalmente, neste ponto especial assim como na organização geral do pensamento, será muito fácil reconhecer a massa clássica como um caso particular das massas relativistas. Bastará para isso eliminar as matemáticas internas, suprimir todas as subtilezas teóricas que resultam num racionalismo complexo. Encontrar-se-á de novo a realidade simplificada e o racionalismo simplista. Deduzir-se-á pois, por apagamento, a mecânica newtoniana da mecânica einsteiniana, sem que alguma vez se possa, tanto no pormenor como no conjunto, estabelecer a dedução inversa.

Assim, quando a propósito de conceitos particulares se faz o balanço dos conhecimentos no sistema do século XIX e no sistema do século XX, tem de concluir-se que tais conceitos se alargaram precisando-se e que doravante só podemos tomá-los como simples na medida em que nos contentarmos com simplificações. Outrora, imaginava-se que era na aplicação que os conceitos se complicavam, julgava-se que eles eram sempre aplicados mais ou menos mal; considerados em si mesmos, eram considerados simples e puros. No novo pensamento, o esforço de precisão já não se faz no momento da aplicação; faz-se no início, ao nível dos princípios e dos conceitos. Como muito bem diz Federigo Enriques (1): «A física, em vez de proporcionar uma

(1) Enriques, *Les concepts fondamentaux de la science*, trad. Rougiers, p. 267.

verificação mais precisa da mecânica clássica, leva antes à correcção dos seus princípios.» Trata-se de uma reviravolta da perspectiva epistemológica de que, de passagem, daremos ainda outros exemplos.

IV

A preocupação de complexidade nem sempre se apresenta tão claramente e há conceitos ainda simples cuja complicação poderíamos talvez aventurar-nos a prever. Far-se-ia assim sentir, na sua origem, a perturbação psicológica _trazida pela dúvida sobre a objectividade dos conceitos de base. E esse o caso, parece-nos, do conceito de velocidade. Tal conceito saiu praticamente indeinhe das manipulações relativistas, ainda que o facto de uma velocidade máxima não tenha podido ser inteiramente legitimado. Outrora, quando se segmentava o saber em conhecimentos conceptuais e em conhecimentos aplicados, em princípios a priori e em experiências a posteriori, quase não podia admitir-se que houvesse um limite na aplicação do conceito de velocidade. Ora, a doutrina não-newtoniana obriga-nos a inscrever o facto da velocidade da luz como velocidade limite ao próprio nível dos princípios da mecânica. Se a velocidade de um móvel material atingisse a velocidade da luz, a sua massa seria infinita.

O absurdo desta conclusão arrasta consigo o absurdo da hipótese. Numa ciência de conceitos matematizados, as noções empíricas solidarizam-se racionalmente. Esta interferência das noções ópticas e das noções mecânicas pode surpreender o filósofo que crê que a nossa inteligência encontra a sua estrutura definitiva em contacto com um Mundo geométrico e mecânico. Talvez a surpresa se atenuie depois de termos explicado, nos capítulos seguintes, a construção de uma inteligência óptica para a qual os factos da experiência óptica são formadores.

Mas, sob certos aspectos, a perturbação do conceito de velocidade é ainda mais profunda. Pouco a pouco a velocidade deixou de ser explicitada e apresenta-se cada vez mais como fundida na noção de momento cinético, Do mesmo modo que a massa de um móvel já não pode precisar-se sem referência à sua velocidade, assim também a noção de velocidade tem tendência a juntar-se à noção de uma massa adjunta, O próprio momento cinético não é senão um caso particular, mais figurado, de um momento de essência mais algébrica. É assim que, perante múltiplas dificuldades, Bohr dizia recentemente que tudo o que se refere à noção de velocidade enferma de uma certa obscuridade. A velocidade só continua a ser uma noção clara para o sentir comum.

Um ponto que permanece particularmente obscuro, é a atribuição realística da velocidade. Vê-se de facto que alguma coisa se move, mas já não se sabe bem o quê. Veja-se, por exemplo, o livro tão profundo de K. Darrow, publicado por Boll: *La synthèse des ondes et des corpuscules*. Notar-se-á que sob o nome de velocidade do som, tão claro ao gosto dos manuais, estudamos de facto um fenómeno mal precisado. O mesmo sucede no que se refere à velocidade da luz. Temos então de espantar-nos menos se estivermos em presença de duas velocidades diferentes quando considerarmos o fenómeno dualístico das ondas e corpúsculos materiais. Ê se então levado a afirmar, diz K. Darrow (1), «que um fluxo de electricidade negativa livre possui duas velocidades diferentes: uma quando o consideramos como um conjunto de partículas, outra quando aí vemos um curso de ondas. Mas não será forçoso que uma destas duas velocidades seja a boa e não será possível decidir entre elas, medindo o tempo efectivo levado pela electricidade para percorrer uma dada distância? Examinemos essa possibilidade; veremos que, seja como for, não é fácil evitar uma tal ambiguidade». Vê-se assim, a propósito da atribuição da velocidade, despontar a ideia de que falávamos na nossa introdução: é o real e não o conhecimento que traz a marca da ambiguidade.

Não será também surpreendente que um dos mais graves erros da mecânica aristotélica seja relativo a uma confusão sobre o papel da velocidade no movimento? O aristotelismo atribula de algum modo demasiada realidade à velocidade, ao afirmar que era necessária uma força constante para manter uma velocidade constante. Foi limitando, como é sabido, o papel do conceito de velocidade que Galileu fundou a mecânica moderna. Foi ao fazer desempenhar à velocidade da luz um papel teórico que a Relatividade fundou o seu primeiro princípio. Nova intervenção, enfim, se pudéssemos aprofundar mais o papel formal dos momentos no cálculo matricial muito recente, veríamos que sentidos derivados será sem dúvida necessário dar ao conceito de velocidade tomado outrora como primitivo.

Só lembramos estas revoluções relativas a um único conceito para chamar a atenção para o facto de que elas são síncronas de revoluções gerais que marcam profundamente a história do espírito científico. Anda tudo ligado, os conceitos e a conceptualização; não se trata de palavras que mudam de sentido enquanto a sintaxe se manteria invariável; tão-pouco de uma sintaxe móvel e livre que encontrasse sempre as mesmas ideias

(1) Karl K. Darrow, *La synthèse des ondes et des corpuscules*, trad. Bol], 1931, p. 22.

para organizar. As relações teóricas entre as noções modificam a definição das noções tanto quanto uma modificação na definição das noções modifica as suas relações mútuas. De uma maneira mais filosófica, pode assegurar-se que o pensamento muda na sua forma se se mudar no seu objecto. Há, sem dúvida, conhecimentos que parecem imutáveis. Supõe-se então que a imobilidade do conteúdo é devida à estabilidade do continente; crê-se na permanência das formas racionais, na impossibilidade de um novo método de pensamento. Ora, o que faz a estrutura não é a acumulação; a massa dos conhecimentos imutáveis não tem a importância funcional que se supõe. Se se quiser de facto admitir que, na sua essência, o pensamento científico é uma objectivação, deve concluir-se que as rectificações e as extensões são as suas verdadeiras molas. É aí que está escrita a história dinâmica do pensamento. É no momento em que um conceito muda de sentido que ele tem mais sentido, é então que ele é, com toda a verdade, um acontecimento da conceptualização. Mesmo colocando-nos no simples ponto de vista pedagógico - ponto de vista cuja importância psicológica é subestimada com demasiada frequência -- o aluno compreenderá melhor o valor da noção de velocidade de Galileu, se o professor souber expor o papel aristotélico da velocidade no movimento. Prova-se assim o desenvolvimento psicológico realizado por Galileu. O mesmo se passa no que se refere à rectificação dos conceitos realizada pela Relatividade. O pensamento não-newtoniano absorve assim a mecânica clássica e distingue-se dela. Não beneficia apenas de uma claridade estática devida à sua organização interna. Ilumina com uma nova e estranha luz o que passava por ser claro em si. Traz uma convicção de uma espécie mais forte que a crença ingénua nos primeiros êxitos da razão porque se demonstra enquanto progresso; mostra assim a superioridade do pensamento completo sobre o pensamento elementar. Com a Relatividade, o espírito científico constitui-se juiz do seu passado espiritual.

v

O que pode levar a pensar que o espírito científico permanece no fundo da mesma espécie através das mais profundas rectificações, é o facto de não se apreciar no seu justo valor o papel das matemáticas no pensamento científico. Repetiu-se vezes sem fim que as matemáticas eram uma linguagem, um simples meio de expressão. Criou-se o hábito de considerá-las como ferramentas à disposição de uma razão consciente de si

própria, senhora de ideias puras dotadas de uma transparência pré-matemática. Uma tal segmentação podia ter um sentido nos inícios do espírito científico, quando as imagens primeiras da intuição tinham uma força sugestiva e ajudavam a teoria a constituir-se. Por exemplo, se se admitir que a ideia de atracção é uma ideia simples e clara, poder-se-á dizer que as expressões matemáticas das leis de atracção não fazem mais que precisar casos particulares, ligar conjuntamente algumas consequências, como a lei das áreas, que têm, também elas, um sentido claro e directo na intuição primária. Mas nas novas doutrinas, ao afastar-se das imagens ingénuas, o espírito científico tornou-se de algum modo mais homogéneo: doravante, está inteiramente presente no seu esforço matemático. Ou ainda, para maior precisão, é o esforço matemático que constitui o eixo da descoberta, é a expressão matemática a única que permite pensar o fenómeno. Há alguns anos, dizia-nos Langevin: «O Cálculo Tensorial conhece melhor a Física que o próprio Físico.» O Cálculo Tensorial é verdadeiramente o quadro psicológico do pensamento relativista. É um instrumento matemático que cria a ciência física contemporânea como o microscópio cria a microbiologia. Não há novos conhecimentos sem o domínio deste instrumento matemático novo.

Diante de uma organização matemática tão complexa, pode ser-se tentado a repetir a acusação bem conhecida de formalismo. Com efeito, quando uma lei matemática é descoberta, é bastante fácil multiplicar as suas traduções; o espírito ganha então uma agilidade que pode fazer acreditar numa espécie de voo para lá das realidades, numa atmosfera leve de pensamento formal. Mas a Física Matemática não está assim tão liberta do seu objecto como o pretendem os doutrinários da Axiomática. Para se dar conta disso, basta um curto exame psicológico do pensamento formal efectivo. Todo o pensamento formal é uma simplificação psicológica inacabada, uma espécie de pensamento-limite jamais atingido. Com efeito, é sempre pensado com base numa matéria, em exemplos tácitos, em imagens dissimuladas. Tentamos em seguida convencer-nos de que a matéria do exemplo não intervém. Entretanto só se dá uma prova disso, é que os exemplos são intermutáveis. Esta mobilidade dos exemplos e esta subtilização da matéria não bastam para fundamentar psicologicamente o formalismo, porque em momento algum se capta um pensamento em seco. Diga ele o que disser, o algebrista pensa mais do que escreve. A fortiori, as matemáticas da Física nova são corno que alimentadas pela sua aplicação à experiência. É de facto certo que o pensamento geométrico riemanniano viu aumentar o seu peso psicológico quando foi utilizado pela Relatividade. Parece ser perfeito o equilíbrio entre o pen-

samento euclidiano de Newton e o pensamento riemanniano de Einstein.

Se quisermos de facto colocar-nos sistematicamente no ponto de vista psicológico, não podemos também deixar de ver as reacções do instrumento matemático sobre o artífice. Vemos então que o homo mathematicus se substitui ao homo faber. Por exemplo, o instrumento tensorial é um maravilhoso operador de generalidade; ao manejá-lo, o espírito adquire capacidades novas de generalização. Antes da era matemática, durante a idade do sólido, era necessário que o Real apontasse ao físico, numa prodigalidade de exemplos, a ideia a generalizar: o pensamento era então um resumo de experiências levadas a cabo. Na nova ciência relativista, um único símbolo matemático cuja significação é prolixa designa os mil traços de uma Realidade escondida: o pensamento é um programa de experiências a realizar.

A esta força indutiva e inventiva que o espírito adquire ao manejar o Cálculo Tensorial, há que acrescentar, para acabar de caracterizar este cálculo do ponto de vista psicológico, o seu valor de pensamento sintético. A disciplina do Cálculo Tensorial exige de facto que não esqueçamos nada, que façamos uma espécie de enumeração orgânica e instantânea que nos dê a certeza de que temos de facto sob observação todas as variações do símbolo. Verifica-se neste caso uma extensão racional do processo cartesiano de enumeração rnernotécnica. Voltaremos a isso nas conclusões desta obra para mostrar que a ciência não-newtoniana generaliza-se numa epistemologia não-cartesiana.

Assim, no próprio pormenor do cálculo, vela uma espécie de consciência da totalidade. É o ideal de totalidade inicial que se prolonga. Com a Relatividade, estamos muito longe do estado analítico do pensamento newtoniano. É do lado estético que encontraríamos valores sintéticos comparáveis aos símbolos matemáticos. Ao lembrar-nos desses belos símbolos matemáticos em que se aliam o possível e o real não poderemos evocar as imagens mallarméanas? «A sua amplitude de inspiração e o seu acento virgem! Pensa-se nisso como em algo que poderia ter sido; e com razão, porque é preciso não descurar, idealmente, nenhuma das possibilidades que andam à volta de uma figura, elas pertencem ao original, mesmo contra a verosimilhança (1) ... »

Assim, as puras possibilidades matemáticas pertencem ao fenómeno real, mesmo contra as primeiras instruções de uma experiência imediata. O que poderia ser, a juízo do Matemático, pode ser sempre realizado pelo Físico. O possível é homogéneo ao Ser.

(1) Mallarmé, Divagations, p. 90.

As mecânicas ondulatória e quântica acentuaram consideravelmente o valor sintético da Física Matemática. Apresentam-se matematicamente, em vários dos seus traços, como métodos de generalização sistemática. Basta um exame rápido para ver a extrema generalidade da equação de Schrödinger. O mesmo se passa com o cálculo matricial. Um físico pragmático -se é que ele ainda existe - poderia levantar mil objecções contra todos esses termos fantasmas que se introduzem, como figurantes, para completar formalmente pensamentos e que desaparecerão sem deixar vestígios, eliminados nas verificações finais. Mas como as pessoas se enganam quando crêem que esses termos fantasmas são desprovidos de realidade psicológica! Eles são de facto apoios indispensáveis do pensamento. Sem o seu intermédio o pensamento científico apareceria como uma simples justaposição de conhecimentos empíricos. É muitas vezes

através desses termos fantasmas que se estabelece a ligação idealista e se efectua essa substituição da consequência à causalidade que é ainda um traço importante da coerência racional da ciência contemporânea.

Assim, o espírito científico não pode contentar-se em pensar a experiência presente nos seus traços salientes, é preciso que ele pense todas as possibilidades experimentais. Estamos perante uma gradação difícil de precisar. E conhecida a exigência positivista de Heisenberg que pretende que todas as noções ertipregadas tenham um sentido experimental. Mas, observando as coisas mais de perto, vê-se que Heisenberg permite o apoio em experiências fictícias. Basta que elas sejam possíveis. Portanto, é finalmente em termos de possibilidades experimentais que se exprime a Física Matemática. Numa tal doutrina, o possível aproximou-se de algum modo do real; retomou um lugar e um papel na organização da experiência. Afastou-se das traduções mais ou menos fantasistas da filosofia do conio se. Desta organização matemática das possibilidades experimentais, volta-se então à experiência por caminhos mais direitos. Reconhece-se o real como um caso particular do possível. Esta perspectiva é sem dúvida adequada para estabelecer o alargamento do pensamento científico.

Em resumo, numa visão geral das relações epistemológicas da ciência física contemporânea e da ciência newtoniana, ve-se que não há desenvolvimento das antigas doutrinas em direcção às novas mas antes envolvimento dos pensamentos antigos pelos novos. As gerações espirituais procedem por ajustamentos sucessivos. Do pensamento não-newtoniano para o pensamento newtoniano, também não há contradição, há apenas contracção. É essa contracção que nos permite encontrar o fenómeno res-

trito no interior do número que o envolve, o caso particular no caso geral, sem que jamais o particular possa evocar o geral. Doravante, o estudo do fenômeno releva de uma actividade puramente numenal; é a matemática que abre os caminhos novos à experiência.

MATÉRIA E IRRADIAÇÃO

Whitehead faz justamente observar que (1) «a fraseologia da física é derivada das ideias materialistas do século XVII. Ora, na nossa opinião, seria um grave erro filosófico crer no carácter verdadeiramente concreto do materialismo, sobretudo quando ele se apresenta como uma doutrina do domínio imediato do real por um pensamento científico mal elaborado, como foi o caso nos séculos XVII e XVIII.

O materialismo, com efeito, procede de uma abstracção inicial que parece dever mutilar para sempre a noção de matéria. Essa abstracção, que não se discute mais no empirismo baconiano que no dualismo cartesiano, é a localização da matéria num espaço preciso. Num outro sentido, o materialismo tende ainda a limitar a matéria: isto é, negando-lhe qualidades à distância pela proibição de actuar onde ela não se encontra. Através de um declive imperceptível, o materialismo encaminha-se para o atomismo realista. Descartes pode negá-lo, mas se a matéria é unicamente extensão, ela é feita de sólidos, tem

(1) Whitehead, *La science et le monde*, trad. de Ivery e Hollard, p. 200.

propriedades estritamente locais, definidas por uma forma, solidárias de uma forma. Para corrigir esta localização totalmente abstracta, inteiramente geométrica, o materialismo completa-se com uma física de fluidos, de exalações, de espíritos, mas sem nunca remontar à análise da intuição primeira. O movimento é acrescentado com demasiada facilidade a esses fluidos imprecisos que são encarregados unicamente de levar algures as propriedades da matéria.

Ora, esta localização da matéria no espaço divide abusivamente as propriedades geométricas e as propriedades temporais. Divide a fenomenologia em dois grupos de estudos: geometria e mecânica. A filosofia científica contemporânea compreendeu o perigo desta divisão arbitrária. Como diz muito bem Schlick (1): não se pode falar «de uma geometria determinada do espaço, sem ter em conta a física e o comportamento dos corpos da natureza». Não deve separar-se o problema da estrutura da matéria e o do seu comportamento temporal. Sente-se mais ou menos nitidamente que o mais obscuro enigma metafísico reside na intersecção das propriedades espaciais e das propriedades temporais. Tal enigma é difícil de enunciar, precisamente porque a nossa linguagem é materialista, porque se julga poder, por exemplo, enraizar a natureza de uma substância numa matéria plácida, indiferente à duração. A linguagem do espaço-tempo é sem dúvida mais apropriada ao estudo da síntese natureza-lei, mas essa linguagem não encontrou ainda imagens suficientes para atrair os filósofos.

Haveria pois um interesse filosófico em seguir todos os esforços de síntese. Na realidade, está por fazer uma síntese verdadeiramente fenomenista da matéria e de suas acções que ocupou a física contemporânea. Ao tentar ligar a matéria e a irradiação, ela dá ao metafísico uma lição de construção. Vamos ver, aliás, com que disponibilidade de espírito o físico contemporâneo estuda a irradiação, sem aceitar precisamente esse materialismo envergonhado que é toda a doutrina do fluido, da emanação, das exalações, dos espíritos voláteis.

Enunciemos o problema sob uma forma o mais polémica possível, reduzindo-o a teses metafísicas. Wurtz fundamenta o atomismo nesse velho argumento de que não se pode «imaginar movimento sem alguma coisa que se move», A tal argumento, a microfísica seria tentada a responder pela recíproca: «não se pode imaginar uma coisa sem avançar alguma acção dessa coisa».

Efectivamente, uma coisa pode muito bem ser um objecto

(1) SchUck, Espace et temps dans la Physique contemporaine, trad. Solovine, p. 33.

inerte para uma espécie de empirismo indolente e compacto, para uma experiência não realizada, isto é, não provada e por conseguinte abstracta apesar das suas reivindicações pelo concreto. Não acontece o mesmo para uma experimentação da microfísica. Aí, não se pode praticar a pretensa análise do real e do devir. Não se pode descrever a não ser numa acção. Por exemplo, o que é um fóton imóvel? Não se pode separar o fóton do seu reflexo como gostaria sem dúvida de fazer um coisista habituado a manejar os objectos sempre disponíveis. O fóton é com toda a evidência um tipo de coisa-movimento. De uma maneira geral, parece que quanto mais pequeno é o objecto, melhor ele realiza o complexo de espaço-tempo que é a própria essência do fenómeno. O materialismo alargado, liberto da sua abstracção geométrica primitiva, leva assim naturalmente a associar a matéria e a irradiação.

Neste quadro, quais vão ser, para a matéria, os caracteres fenomenais mais importantes? São os que são relativos à sua energia. Antes de tudo, há que considerar a matéria como um transformador de energia, como uma fonte de energia; depois levar a cabo a equivalência das noções e perguntar-se como é que a energia pode receber os diferentes caracteres da matéria. Por outras palavras, é a noção de energia que constitui o traço de união mais frutuoso entre a coisa e o movimento; é por intermédio da energia que se mede a eficácia de uma coisa em movimento, é por tal intermédio que se pode ver como é que um movimento se torna uma coisa.

É verdade que na macrofísica do século passado se examinavam já com cuidado as transformações de energia, mas tratava-se sempre de grandes balanços cujo pormenor de evolução não era fixado. Donde a crença nas transformações contínuas num tempo sem estrutura: a continuidade de uma conta bancária impedia de compreender o carácter descontínuo da permuta. Tinha-se chegado a uma espécie de doutrina abstracta da transferência que bastava, supunha-se, para justificar a economia energética. Assim, as energias cinéticas tornavam-se potenciais; as diversas formas de energia, caloríficas, luminosas, químicas, eléctricas e mecânicas, transformavam-se directamente uma na outra, graças a coeficientes de conversão. É verdade que as pessoas se davam mais ou menos conta de que uma matéria devia constituir o lugar, servir de base, para essa troca energética. Mas, em tais permutas, a matéria não era muitas vezes mais que uma espécie de causa ocasional, um meio de expressão para uma ciência que queria permanecer realista. Toda uma escola pretendia, de resto, dispensar a noção de matéria. Era o tempo em que Ostwald dizia: o pau que bate em Escapino não prova a existência do mundo exterior. Esse pau não existe. Apenas

existe a sua energia cinética. Karl Pearson. dizia igualmente: a matéria é o imaterial em movimento - «Matter is non-matter in motion» (1). Afirmações estas que podiam parecer legítimas, porque sendo a matéria tomada apenas como um suporte plácido e a energia como uma qualidade de algum modo exterior e indiferente ao suporte, poder-se-ia muito bem, por uma crítica à maneira de Berkeley, fazer a economia do suporte para falar apenas do verdadeiro fenómeno de essência energética. Compreende-se que uma tal doutrina se tenha afastado de todo o estudo relativo à estrutura da energia. Não apenas ela se opunha às pesquisas atómicas sobre a estrutura da matéria, como se orientava, no seu próprio domínio, para um estudo geral da energia, sem procurar construir a energia.

Brunschvicg escreveu páginas muito profundas sobre o paralelismo das doutrinas referentes à conservação da matéria e à da energia. «O substancialismo químico, orientado para a ontologia materialista do atomismo antigo, diz ele (2), parece recorrer a um substancialismo físico que, por detrás da diversidade das aparências qualitativas, estabelece, como outrora faziam os Estóicos, a unidade de uma realidade causadora»; e um pouco mais adiante: «Vulgarizou-se a ideia... de uma espécie de substrato causal, que permanece, sob as várias transformações de ordem física, análogo ao substrato propriamente material que após a química de Lavoisier nos tínhamos acostumado a considerar como imperecível e como eterno através das composições e decomposições dos diferentes corpos.» Assim, o realismo da energia tal como o realismo da matéria apresentavam-se no século passado como doutrinas de filosofia geral, de tendência abstracta, prosseguindo o despovoamento do espaço e do tempo, ao invés das doutrinas modernas cuja actividade «espacializante» e «numeradora» foi tão bem posta em evidência por Brunschvicg.

Este duplo défice de estrutura que atinge tanto a matéria

como a energia na intuição antiga parece-nos menosprezar uma característica essencial da energia: o seu carácter temporal. Só poderemos aprofundar a noção de energia aumentando a nossa experiência dos fenómenos da duração. Se nos limitarmos a dizer que a matéria tem propriedades energéticas, que ela pode absorver, emitir energia, que pode armazená-la, che-

(1) Citado por Reiser, «Mathematics and emergent evolution», in *Monist*, Out. de 1930, p. 523. (2) Brunschvicg, *Eexpérience humaine et la causalité physique*, p. 351, 352.

garemos a contradições. Ao armazenar-se, a energia torna-se latente, potencial, dissimulada, como uma soma de dinheiro subtilizada nos guichets dos bancos, e a energia que não tem sentido real a não ser num desenvolvimento temporal torna-se intemporal.

Ora, iremos ver, com a física contemporânea, a energia reincorporar-se na matéria, associar-se à matéria, numa espécie de permuta estrutural perpétua. Já não se trata daquele armazenamento indefinido, que não traz nenhuma diferença substancial, como se verificava, na antiga intuição, no caso de uma bala de chumbo que passava da temperatura de 00 à temperatura de 1000, ou da velocidade de um metro por segundo à velocidade de dois metros por segundo. Pelo contrário, nas intuições contemporâneas, trata-se de facto de uma dialéctica ontológica. Não apenas o átomo atomiza todos os fenómenos que se concentram nele, mas dá uma estrutura a toda a energia que emite.

O átomo é ele próprio transformado de uma maneira descontínua por absorção ou emissão de energia descontínua. A partir daí, já não basta dizer que a matéria nos é dada a conhecer pela energia tal como a substância pelo seu fenómeno; também não se pode dizer que a matéria tem energia, mas sim que, no plano do ser, a matéria é energia e que reciprocamente a energia é matéria. Esta substituição do verbo ter pelo verbo ser, encontrá-la-emos em muitos pontos da ciência nova. Ela parece-nos de um alcance metafísico incalculável. Equivale a substituir a descrição pela equação, a qualidade pela quantidade e esta última substituição não aparece aqui como uma espécie de abandono filosófico. É exactamente ao contrário, para as doutrinas matemáticas, uma conquista decisiva uma vez que é conseguida no domínio da metafísica. Com efeito, deve compreender-se doravante que há mais e não menos numa organização quantitativa do real que numa descrição qualitativa da experiência. A qualidade, encontrá-la-emos com a sua imprecisão ao nível dos fenómenos compensados, nas inconsistentes propriedades dos conjuntos, como um pobre aspecto geral e vago, como um resumo sempre unilateral. Ao estudar as flutuações da quantidade, teremos meios para definir o carácter indefinível das qualidades particulares. E o realismo da qualidade primária sofrerá um novo fracasso. Assim, os estudos sobre a ionização justificam a cor azul do céu, fazendo passar o valor explicativo da matéria para a irradiação. É em vão, objectar-se-á, que se pensa na propriedade atribuída à irradiação como se pensava na qualidade atribuída à matéria quando se dizia, no século passado, que o ar captado sob uma grande espessura é azul. Sente-se de facto que as ligações substantivas foram desatadas e que só há agora os laços da linguagem que nos ligam ao realismo

imediatamente. A imensa abóbada celeste aparece-nos azulada, mas todo esse azul já não é para nós uma verdadeira propriedade substancial. O azul do céu não tem praticamente mais existência que a abóbada celeste.

O próprio facto de a energia modificar a matéria levar-nos-á a uma estranha tradução do figurado no abstracto: é porque um átomo recebe ou liberta energia que ele muda de forma; não é porque muda de forma que ele perde ou ganha energia. Se não se compreender bem este cambiante será porque se concede demasiada causalidade ao átomo individual. Impede-se assim o recurso à probabilidade como noção inicial. Sejamos pois o menos realistas possível ao nível do átomo e veremos que a modificação de energia - modificação abstracta - pode ser explicativa.

Assim, o estudo da micro-energética parece-nos conduzir a uma desmaterialização do materialismo. Virá um momento em que poderemos falar de uma configuração abstracta, de uma configuração sem figura; depois de termos elevado a imaginação, instruída inicialmente pelas formas espaciais, até à hipergeometria do espaço-tempo, veremos a ciência ocupada na eliminação do próprio espaço-tempo para alcançar a estrutura abstracta dos grupos. Estaremos de facto nesse domínio do abstracto coordenado que dá o primado à relação sobre o ser.

Em resumo, de uma maneira ao mesmo tempo geral e positiva, as relações da matéria e da energia são muito adequadas para nos mostrar como é que a cooperação das noções científicas acentua o seu valor ontológico. E também por esse meio que se obtém a libertação de uma intuição demasiado espacial, demasiado confiante na sua conquista realista primária. Ao passo que a matéria se apresenta à intuição ingénua no seu aspecto localizado, como desenhada, como encerrada num volume bem limitado, a energia essa permanece sem figuras; não se lhe dá uma configuração a não ser indirectamente, ligando-a ao número. A energia pode aliás, sob forma potencial, ocupar um volume sem limite preciso; pode actualizar-se em pontos particulares. Maravilhoso conceito colocado como um intermediário numérico entre o potencial e o actual, entre o espaço e o tempo! Pelo seu desenvolvimento energético, o átomo é devir assim como ser, é movimento assim como coisa. É o elemento do devir-ser esquematizado no espaço-tempo.

Pode, de resto, assinalar-se uma evolução recíproca que pode fazer-nos prever uma nova realização dos caracteres energéticos, de tal modo é regular o balanceamento epistemológico do realismo ao não-realismo. Assim, é um dos experimentadores mais prudentes desta época que sugere a ideia da criação do

átomo pelo movimento. Numa comunicação pronunciada perante a sociedade da indústria química de Nova Iorque - haverá mais forte garantia de Positivismo que a aproximação destas três qualidades: industrial, químico, americano? - Millikan apresenta como causa dos raios cósmicos o processo de edificação dos átomos nas regiões do Universo em que as temperaturas e as pressões estão no extremo oposto do que elas são nas acumulações de matéria. Ele opõe portanto ao processo de destruição atômica que se verifica nas estrelas um processo de criação atômica que tem lugar no vácuo interestelar. A destruição atômica nas estrelas dá uma energia de irradiação que se reconverte em matéria, em electrões, nas condições de densidade e de temperatura nulas que reinam no vácuo interestelar. Os corpúsculos positivos e negativos assim criados à custa da energia irradiada pelas estrelas servem para edificar vários átomos dos quais o hélio, o oxigénio e o silício são tomados como tipos gerais, por Millikan. É esta «reconversão» da energia em matéria que nos é anunciada pelos raios cósmicos (1).

Millikan não deixa de indicar que esta evolução recíproca, que vai alternativamente do movimento à matéria, da irradiação ao corpúsculo, corrige as concepções do século passado sobre a «morte» do Universo.

Esta reversibilidade ontológica da irradiação e da matéria, completa de algum modo a reversibilidade das permutas entre matéria e energia irradiada tal como a apresentava a equação de Einstein relativa ao efeito fotoquímico. Segundo essa equação, a matéria absorvia de facto a energia da irradiação e emitia, por sua vez, energia. As permutas entre absorção e emissão eram na realidade reversíveis; eram expressas pela mesma equação. Mas, por muito pródiga que seja a matéria nesta emissão energética, a intuição de Einstein não nos permitia de facto conceber que a matéria pudesse apagar-se completamente. De igual modo, por muito apta que a irradiação seja para se materializar, pensava-se que lhe faltava pelo menos um germe de matéria para evoluir. Na base do realismo einsteiniano permanecia pois um materialismo. Com a intuição de Millikan, a transformação do real é mais completa. É o movimento sem suporte que não apenas se apoia num suporte material encontrado por acaso, mas que cria de súbito o seu suporte. E cria-o em tais condições de solidão, de inanidade, de ausência de todas as coisas, que se pode bem dizer que se assiste à criação da maté-

(1) Ver o artigo de Millikan, *Reme générale des sciences*, Outubro de 1930, p. 578.

ria a partir da irradiação, da coisa a partir do movimento. A equação de Einstein é portanto mais que uma equação de transformação, é uma equação ontológica. Obriga-nos a dar o ser tanto à irradiação como ao corpúsculo, tanto ao movimento como à matéria.

il

Se acompanharmos então o problema das permutas entre a matéria e a energia tentando descer aos domínios da microfísica onde se forma o novo espírito científico, aperceber-nos-emos de que o estado de análise das nossas intuições comuns é muito enganador e de que as mais simples ideias, como as de choque, de reacção, de reflexão material ou luminosa, têm necessidade de ser revistas. O mesmo é dizer que as ideias simples precisam de ser complicadas para poderem explicar os microfenômenos.

Tomemos, por exemplo, o caso da reflexão luminosa e vejamos como é que a própria ideia de reflexão, tão clara na intuição macroscópica, se baralha a partir do momento em que se pretende estudar a «reflexão» de uma irradiação sobre um corpúsculo. Aprender-se-á facilmente com base neste exemplo a ineficácia epistemológica das ideias simples de tipo cartesiano quando essas ideias simples são extraídas de uma intuição imediata onde se realiza demasiado depressa a fusão dos ensinamentos da experiência e da geometria elementares.

A usual experiência do espelho é à primeira vista tão simples, tão clara, tão distinta, tão geométrica, que poderia ser colocada na base da conduta científica, no próprio estilo em que Pierre Janet fala da conduta do cabaz para caracterizar a mentalidade humana e mostrar a grande superioridade da criança que compreende a acção totalizante do cabaz ao passo que o cão nunca se serve do cabaz como colector de objectos. Com efeito, a conduta do espelho é um esquema de pensamento científico tão primitivo que parece difícil de analisar psicologicamente. Por isso, os principiantes espantam-se frequentemente com a insistência do professor no que se refere à lei da reflexão. Parece-lhes evidente que o raio reflectido toma uma orientação exactamente simétrica do raio incidente. O fenómeno imediato não põe problemas. Priestley, na sua história da óptica, diz que a lei da reflexão sempre foi conhecida, sempre compreendida. A dificuldade do desenvolvimento pedagógico provém aqui, como em muitos casos, da facilidade da experiência. Tal expe-

riência é precisamente o tipo desses dados imediatos que o novo pensamento científico deve reconstruir. E não se trata de uma questão de pormenor porque a reflexão da luz ilustra toda a experiência de ressalto. As mais diversas instituições reforçam-se unias às outras: compreende-se o choque elástico pela reflexão luminosa aplicando um princípio intuitivo caro a Kepler que pretendia que «todos os fenómenos da natureza fossem relacionados com o princípio da luz». Reciprocamente, explica-se a reflexão pelo ressalto das bolas luminosas. É mesmo nessa aproximação que se encontra uma prova da materialidade dessas bolas. Cheyne, um comentador de Newton, nota-o expressamente. A luz é um corpo ou uma substância, diz ele, porque ela «pode ser reflectida e determinada a mudar de movimentos como outros corpos, e (porque) as leis da reflexão são as mesmas que as dos outros corpos». Encontrar-se-ão no erudito livro de Mme Meuger (1), do qual tiramos esta citação, passagens em que o substancialismo dos corpúsculos luminosos é mais acentuado; o ressalto permanece sempre a primeira prova. O princípio da razão suficiente funciona claramente a propósito da lei da reflexão; vem de súbito ligar à experiência real a lei matemática e assim se forma, na base da ciência, um belo tipo de experiência privilegiada, abundantemente explicativa, totalmente explicada; um acontecimento do mundo físico é promovido à categoria de meio de pensamento, de *denkmittel*, de categoria do espírito científico. Este acontecimento torna-se a ocasião de uma geometrização fulminante que deveria despertar as suspeitas do filósofo acostumado à complexidade da Física Matemática.

Efectivamente, essa fonte de claridade que é a intuição privilegiada da reflexão luminosa pode ser uma causa de cegueira. Acompanhemos, por exemplo, sobre o problema da cor azul do firmamento, os reais obstáculos trazidos pela conduta do espelho.

O problema foi posto pela primeira vez em termos científicos por Tyndall. Tyndall já não se contentou com essa explicação substancialista, curiosamente ambígua, que pretendia que o ar fosse incolor sob uma fraca espessura e com cor sob uma grande espessura, dupla afirmação bem característica de um espírito pré-científico, arredada perante as teses realistas mesmo contraditórias. Referindo-se a engenhosas experiências sobre suspensões de mástica na água clara, Tyndall julgou poder

(1) Helène Metzger, Newton, Stahi, Boerhaave et la doctrine chimique, p. 74 e ss.

estabelecer que o fenômeno do azul do céu provinha de uma difusão da luz sobre partículas materiais. Lord Rayleigh apresentou em 1897 uma teoria do fenômeno mostrando que a difusão não se fazia de facto sobre poeiras ou pequenas gotas, mas sim sobre as moléculas do próprio gás. Segundo esta teoria, toda a luz emitida pelo sol é de facto difusa, mas como a intensidade da luz propagada é inversamente proporcional à quarta potência do comprimento de onda, é a luz azul, cujo comprimento de onda é o mais pequeno, que predomina no efeito de conjunto. A fórmula de Lord Rayleigh é engenhosa e rebuscada, mas a intuição de base continua a ser muito simples: é transmitida energia recebida; a molécula faz pura e simplesmente obstáculo à luz, reenvia a luz segundo a conduta do espelho. Não há necessidade nenhuma, supõe-se, de procurar mais longe. Não se estará em face da mais clara, da mais distinta, da mais essencial das intuições em que a coisa recambia um movimento?

Ora, uma descoberta muito importante permanecia encoberta pela própria explicação. Pareceria uma evidência que este fenômeno de mudança de cor da luz reflectida devesse sugerir um estudo espectroscópico da irradiação propagada. No entanto esse estudo espectroscópico foi descurado durante muito tempo. Ao passo que numerosos experimentadores estudaram a intensidade e a polarização da luz propagada no fenômeno de Tyndafi, «é absolutamente notável, diz muito justamente Victor Henri (1), que nenhum dos numerosos intervenientes que estudaram este fenômeno não tenha tido a ideia de colocar -um espectrógrafo e de analisar a natureza da luz difusa... Foi só em 1928 que um genial físico hindu, Sir Raman, assinalou que a luz difusa contém raios de frequências inferiores e superiores à frequência incidente». O alcance científico da descoberta do efeito Raman é bem conhecido, mas como menosprezar o seu alcance metafísico? Com efeito, ao nível da microfísica captou-se uma cooperação da irradiação e da molécula; a molécula reage juntando à irradiação a recebida as suas características irradiantes próprias. A vibração que vem atingir a molécula não ressaltará como um objecto inerte, nem tão-pouco como um eco mais ou menos abafado; terá um outro timbre, porque vibrações múltiplas virão juntar-se-lhe. Mas trata-se ainda de uma visão e de uma expressão demasiado materialistas para justificar a interpretação quântica do fenômeno: será verdadeiramente um espectro luminoso que sai da molécula atingida por um raio? Não será antes um espectro de números que nos transmite as novas matemáticas

(1) Victor Honri, *Matière et energie*, 1933, p. 24.

de um mundo novo? Em todo o caso, quando se vai ao fundo dos métodos quânticos, damo-nos realmente conta de que não se trata já de um problema de choque, de ressalto, de reflexão, nem tão-pouco de uma simples troca energética, mas que as permutas de energia e de luz se estabelecem segundo um duplo jogo de escrita, regulado por conveniências numéricas complicadas. Assim, o azul do céu interpretado matematicamente é actualmente um tema de pensamento científico cuja importância não se poderia exagerar. O azul celeste, cuja pouca «realidade» referíamos atrás, é tão instrutivo para o novo espírito científico como o foi, há alguns séculos, o mundo estrelado por cima das nossas cabeças.

Assim, é quando se examina o fenómeno luminoso resistindo ao esquematismo, lutando contra a intuição primeira, provocando razões de pluralismo experimental, que se chega a pensamentos que rectificam pensamentos e a experiências que rectificam observações.

111

O mesmo problema de complexidade essencial se poria se se examinasse o efeito Compton interpretando-o na linguagem da mecânica ondulatória. Com efeito, o encontro de um fóton e de um electrão modifica a frequência de um e do outro. Esta coincidência no espaço de dois objectos geométricos tem portanto consequências nas propriedades temporais desses objectos. Assim, um tal encontro não é um choque mecânico, nem tão-pouco uma reflexão óptica, inteligível através da conduta do espelho. É um acontecimento ainda mal dilucidado, muito mal designado sob o nome de choque electromagnético. Há que ver aí uma soma da mecânica relativista, da óptica, do electromagnetismo. Tal soma não poderia ser melhor enunciada que na linguagem do espaço-tempo. Que poeta nos dará as metáforas desta nova linguagem? Como conseguiremos nós imaginar a associação do temporal e do espacial? Que visão suprema sobre a harmonia nos permitirá harmonizar a repetição no tempo com a simetria no espaço?

Há experiências positivas para ilustrar esta acção do ritmo sobre a estrutura. Assim, não se conhece nenhum processo químico susceptível de separar os dois isótopos do Cloro, Tomem-se os compostos elorados que se quiser, as manipulações ordinárias da química fornecem sempre a mesma mistura constituída pelos dois Cloros 35 e 37. No entanto, se se fizer incidir sobre o

57

fosgénio COCl um feixe de raios ultravioletas cuja frequência coincide com a banda do isótopo 35, produz-se a dissociação do fosgénio com libertação apenas do isótopo 35. O Cloro 37 permanece em combinação, insensível a uma solicitação mal ritmada(1). Neste exemplo, como se vê, a irradiação liberta matéria. Se não compreendemos em todos os seus pormenores estas reacções ritmadas, é porque as nossas intuições temporais são ainda muito pobres, resumidas nas nossas intuições de começo absoluto e de duração contínua. Este tempo sem estrutura parece à primeira vista apto a receber livremente todos os ritmos; mas esta facilidade é ilusória, põe a realidade do tempo na conta do contínuo, na conta do simples, ao passo que todas as acções maravilhosas do tempo neste novo domínio da microfísica relevam evidentemente do descontínuo. Aqui o tempo opera mais pela repetição que pela duração. A menor meditação do fenómeno deve convencer-nos de que nesta decomposição electiva do fosgénio, há toda uma outra complexidade temporal que na acção explosiva e brutal da luz sobre a mistura de Cloro e de Hidrogénio, como se explicava no século passado. Com a luz possuímos um agente rítmico de primeira ordem que intervém no complexo espaço-tempo que é a matéria. Jean Perrin propôs em 1925 uma hipótese radioquímica que equivale a afirmar que todas as reacções químicas são reacções fotoquímicas. Não poderia haver modificação estrutural de uma substância a não ser por intermédio de uma energia radiante, energia necessariamente quantificada, colocada sob forma rítmica, como se as estruturas só pudessem ser modificadas por ritmos. A partir daí a ideia macroscópica do choque perdia todo o seu valor explicativo. Por conseguinte, Jean Perrin propôs ele próprio que se restabelecesse o choque como causa possível de reacção, mas mantém uma espécie de equivalência causal entre a energia do choque e a energia da radiação (2).

Esta equivalência é susceptível, cremos nós, de modificar profundamente as nossas concepções, realistas das substâncias químicas. Com efeito, desde que se incorporou a radiação como intermediário entre as moléculas, desde que se compreendeu que a radiação é uma parte integrante do real, possui-se uma razão de diversidade essencial em relação a substâncias químicas que passavam por ser as melhor definidas. Uma molécula que absorveu um quantum de energia radiante sofreu uma diferenciação. O químico encontra-se portanto em presença de um

(1) Ver V. Henri e Noweli, Proc. Roy. Soc., 128, 192, 1930. Citado por V. Henri, loc. cit., p. 235. (2) Ver Haissinsky, L'atomisme moderne et la chimie, p. 311.

complexo energia-matéria que só pode ser definido estatisticamente, dado que as moléculas não são semelhantes e que a repartição energética não é uniforme. Como a química cinética dia a dia se vai desenvolvendo, vai-se pouco a pouco pondo a tónica sobre os caracteres energéticos. A micro-energética apresenta-se, precisamente, como uma estatística das energias quantificadas. Nesta linha, pode pois perfeitamente falar-se de uma ontologia estatística das substâncias.

IV

Vejamos então as coisas de mais alto. Recordemos a organização electrónica dos diversos elementos da Química e tentemos notar a subtil passagem do plano realista ao plano da matemática probabilística.

Pouco a pouco, tinha-se sido levado a interpretar a ordem de Mendeleiev como o sinal da riqueza progressiva dos elementos químicos em electrões. Antes da intervenção da doutrina dos quanta, esta explicação geral do sistema dos elementos era o triunfo do realismo. Era a presença real dos electrões no átomo que fornecia a raiz da explicação. Pouco a pouco, veio a juntar-se-lhe como motivo de explicação, o lugar dos electrões, e é segundo a estrutura das coroas de electrões que se faz uma ideia da distribuição dos elementos nos vários períodos do quadro de Mendeleiev. Neste estádio da explicação, fez-se assim desempenhar um papel ao realismo da estrutura que vem colocar-se acima do realismo da partícula fundamental. Com base nesta intuição da estrutura electrónica vem fundar-se toda uma doutrina da valência química que justifica afinidades e tenta explicar todas as reacções.

Eis pois como essa imensa arquitectura realista foi atingida por uma matemática complexa e subtil. Em vez de ligar directamente ao electrão propriedades e forças, vai ligar-se-lhe números quânticos e, segundo a distribuição desses números, deduzir-se-á a distribuição dos lugares dos electrões no átomo e na molécula. Que fique bem captada a súbita subtilização do realismo. Aqui, o número torna-se um atributo, um predicado da substância. Quatro números quânticos bastarão para dar a individualidade ao electrão. Essa individualidade será, aliás, objecto de uma espécie de respeito matemático. Eis, de facto, a lei social de toda a associação substancial: no átomo, nenhum electrão terá o direito de se atribuir exactamente o mesmo complexo de quatro números quânticos que caracteriza um outro electrão. De um electrão

a outro, é preciso que haja pelo menos uma diferença no número quântico. É graças a esta diferenciação numérica que o electrão terá o seu papel bem fixado no átomo. Tal é o sentido filosófico do princípio de exclusão de Pauli. Como se vê, este princípio vai contra toda a atribuição substancialista, inscrita em profundidade na substância, dado que se trata de uma espécie de atribuição em extensão. O que pode impedir um electrão de se atribuir um complexo particular de quatro números quânticos é que um outro electrão possua já esse complexo. Se se pensar agora que a tendência da Química contemporânea é estender a ‘aplicação do princípio de Pauli não apenas às moléculas mas ainda a toda a associação material efectiva (ver, por exemplo, a este respeito os trabalhos de Fermi), é-se levado a uma espécie de sinonímia entre a organização material e o princípio de individuação quântica dos elementos constituintes. A partir do momento em que há organização efectiva, há motivo para fazer intervir o princípio de Pauli. Filosoficamente falando, é a exclusão sistemática do mesmo, é o apelo ao outro. Dentro de todo e qualquer sistema, ou melhor, para que vários elementos constituam um sistema, é preciso que exista uma diversidade matemática essencial entre os componentes. Só poderão ser idênticas substâncias químicas sem reacção, indiferentes umas às outras como mundos fechados.

O que é que caracteriza então o corpo químico simples ou composto? Não é outra coisa senão essa organização numérica matizada, essa organização de números que se completam excluindo-se. Há uma espécie de passagem subreptícia do corpo químico ao corpo aritmético, sendo este último termo tomado no seu sentido matemático técnico. Um corpo químico é assim um corpus de leis, uma enumeração de caracteres numéricos. Tal é o primeiro esforço de subtilização que marca a passagem do realismo materialista ao realismo matemático.

A atribuição dos quatro números quânticos ao electrão deve ser ainda mais dessubstancializada. É preciso agora compreender de facto que esta atribuição é de essência probabilística, porque se sente mais ou menos nitidamente a necessidade de fundamentar o princípio de exclusão de Pauli a partir do cálculo das probabilidades. Mas este ponto permanece ainda confuso. O que parece claro é que os números quânticos servem para quantificar a energia. ora, todas as atribuições energéticas aparecem agora como de origem probabilística. Quando se considera em seguida as cooperações energéticas da matéria e da irradiação, é ainda a relações de probabilidade que temos de dirigir-nos. Assim, pouco a pouco, a aritmética quântica torna-se uma aritmética da probabilidade.

Tomemos então uma substância química no seu carácter matemático complexo. Ela já não é praticamente mais do que uma hipótese de reacção. Bastaria ser exigente na definição ultraprecisa de uma reacção expressa em todo o seu pormenor energético para que a substância se dissipasse como a esperança de um jogador num jogo demasiado arriscado. Há, sem dúvida, razões de estabilidade, mas é preciso procurá-las na lei dos grandes números; há, sem dúvida, conhecimentos empíricos sólidos, mas há que procurá-los a um nível de imprecisão suficientemente tolerante. Podemos, de facto, estar certos de que o Cloro reagirá sobre o Hidrogénio, podemos mesmo estudar a rapidez e o progresso da activação fotoquímica sobre uma mistura de Cloro e de Hidrogénio. Mas quanto a dar o pormenor da partilha quântica, quanto a definir com precisão, com uma objectividade pormenorizada, o estado energético nos diferentes instantes da reacção, pode pensar-se tanto nisso como em descrever a distribuição exacta das cartas no decurso de um longo serão de bridge. Finalmente, a química deve tomar a medida das suas certezas no cálculo das probabilidades.

Assim, a Química, que foi durante muito tempo a ciência substancialista por excelência, vê o conhecimento das suas matérias subtilizar-se cada vez mais. Se se julga acerca do objecto segundo as provas da sua objectividade, deve dizer-se que o objecto se matematiza e que manifesta uma singular aproximação da prova experimental e da prova matemática. O abismo metafísico entre o espírito e o mundo exterior, tão intransponível para os metafísicos intuitivos imediatos, apresenta-se menos largo para uma metafísica discursiva que tenta acompanhar os progressos científicos. Pode mesmo conceber-se uma autêntica deslocação do real, urna depuração do real, uma sublimação metafísica da matéria. A realidade transforma-se primeiro em realismo matemático, depois o realismo matemático vem dissolver-se numa espécie de realismo das probabilidades quânticas.

O filósofo que acompanha a disciplina dos quanta - a schola quantorum - aceita pensar todo o real na sua organização matemática, melhor ainda, habitua-se a medir metafisicamente o real pelo possível, numa direcção estritamente inversa do pensamento realista. Expressamos pois esta dupla supremacia do número sobre a coisa e do provável sobre o número por meio de uma fórmula polémica: a substância química não é mais do que a sombra de um número.

ONDAS E CORPÚSCULOS

É talvez a propósito do dualismo das ondas e dos corpúsculos que as observações psicológicas a que consagramos esta obra se nos apresentam melhor fundadas. É de facto aí, mais que noutra sítio, que se pode sentir como somos mal instruídos pela experiência imediata, até que ponto somos vítimas do carácter unilateral da nossa experiência mecânica inicial. Pode explicar-se a primeira resistência das intuições geniais de Louis de Broglie por uma espécie de endurecimento psicológico que impediu de acompanhar a dupla informação da experiência. Temos tanto a aprender dos fluidos como dos sólidos. Deveríamos ensinar a nós próprios a pensar os sólidos a partir da experiência primitiva dos fluidos, quanto mais não fosse para contrabalançar o movimento epistemológico inverso seguido pela tradição.

Muito justamente, Heisenberg dá às suas críticas um andamento pedagógico que põe em evidência a necessidade da dupla experiência. Nos seus *Principes physiques de la Théorie des Quanta*, após uma curta introdução, desenvolve dois capítulos curiosamente antagónicos. O primeiro capítulo consiste em criticar as noções físicas da teoria corpuscular apoiando-se nas noções físicas da teoria ondulatória, atribuindo por conseguinte uma espécie de validade prévia às noções ondulatórias. O capítulo

seguinte transmuta exactamente as objecções. Consiste em criticar as noções físicas da teoria ondulatória apoiando-se nas noções físicas da teoria corpuscular tomadas desta vez como válidas. Se esta dupla crítica fosse verdadeiramente de essência realística, procederia portanto de um círculo vicioso intolerável.

Na verdade, esta crítica dialéctica é uma excelente lição de filosofia fenomenista. Ela é necessária para pôr correctamente os problemas, longe dos arrebatamentos realistas. Basta percorrer os dois capítulos para notar o proveito psicológico que daí se tira. Tomando-se o primeiro, recebe-se desde logo - excelente higiene intelectual - o choque dos paradoxos da mecânica ondulatória: é preciso, de facto, construir a mecânica com a óptica. As noções de velocidade, de corpúsculo, de energia, de posição são noções a explicar, a construir. Já não são noções simples, imediatas, claras e distintas. Já não são explicativas. O valor de explicação passou para as noções ondulatórias. Por exemplo, «o facto de a posição do electrão ser conhecida com um certo erro δq interpreta-se, do ponto de vista ondulatório, como uma função de onda cuja amplitude só é diferente de zero num pequeno intervalo que tem aproximadamente a dimensão Δq . Pode-se sempre imaginar uma tal função de onda como composta de uma soma de ondas elementares que, por interferência, se juntam no pequeno intervalo Δq e se destroem mutuamente no exterior» (1). Este método equivale a construir o corpúsculo considerando-o como um maço de ondas, mais ou menos como a teoria cinética dos gases constrói a pressão considerando-a como um feixe de choques. Filosoficamente, deve reconhecer-se aí uma inversão da função realista, função essa que, tomada no seu sentido absoluto, nunca deveria inverter-se. Com efeito, inscreve-se o real imediato por conta da composição indirecta, aceitando o corpúsculo como um elemento complexo, como um elemento construído pela síntese e não já isolado pela análise. Da crítica ondulatória decorre que o corpúsculo não tem mais realidade do que a composição que o faz aparecer. Há acontecimentos temporais no próprio fundo do seu ser. O corpúsculo não poderia ter uma permanência absoluta, não pode manter todos os seus atributos como a substância dos filósofos sustinha todas as suas qualidades. As ondas que o constroem têm de satisfazer condições nos limites que são condições fundadas em regiões muito afastadas do ponto em que o corpúsculo material se apresenta como uma sombra efémera.

O mesmo é dizer que a existência do corpúsculo tem uma raiz

(1) Heisenberg, Principes physiques de la théorie des quanta.

em todo o espaço. Leibniz dizia outrora: «Quod non agit, non existit.» É preciso agora dar ao aforismo uma forma positiva. Em todo o sítio em que o ponto age, ele existe. Como diz Louis de Broglie (1), na mecânica ondulatória «já não se concebe o ponto material como uma entidade estática que só atinge uma região ínfima do espaço, mas como o centro de um fenómeno periódico espalhado em seu redor».

E como é que se atribuiria uma velocidade estritamente definida ao corpúsculo uma vez que já se não pode falar da sua identidade no tempo? Todas as imagens da mecânica do ponto se revolvem umas após as outras: uma vez que já não se pode reconhecer o corpúsculo, já não podemos encontrá-lo, já não podemos seguir o seu rasto. Assim, ele já não deixa rasto. O seu movimento não se traduz propriamente numa trajectória. A sua matéria escapa totalmente ao princípio de identidade, ao mais fundamental princípio de conservação. Tomado como soma dos fenómenos vibratórios, ele é mais reconstruído que propriamente conservado. Por fim, deve recusar-se ao corpúsculo a atribuição directa das qualidades para atribuir à construção a conquista mais ou menos durável dos atributo 's.

Tornar indirecto o que era directo, achar mediato no imediato, complexo no simples, eis a medida exacta da revolução do empirismo operada pela mecânica ondulatória. Do ponto de vista psicológico, vê-se que as novas doutrinas nos ensinam a desaprender, pedem-nos, se assim se pode dizer, que desintuamos uma intuição o por uma outra, que rompamos com as análises primeiras para pensarmos o fenómeno no termo de uma composição.

Bem entendido, não se trataria de considerar o corpúsculo como uma pequena esfera cujo volume é definido. Por exemplo, tal como toda a medida intra-electrónica é inconcebível, o interior do electrão é uma espécie de domínio proibido. Em rigor, seria preciso poder inscrever estas proibições no próprio âmago da axiomática da Física Matemática. Foi o que propuseram Coppel, Fournier e Yovanovitch. Eles dão-se conta de que as zonas de proibição tornam impossível a correspondência absoluta entre o espaço povoado de substâncias e o continuum aritmético. A partir daí o postulado de Arquimedes vai achar-se contradito. Este postulado enuncia-se geometricamente sob a forma seguinte: se forem dados dois segmentos, há sempre um múltiplo do mais pequeno que ultrapassa o maior; por outras pala-

(1) L. de Broglie, «La nouvelle dynamique des quanta», apud, *Eléctrons et photons*, 1928, p. 105.

vras, usando bastantes vezes o centímetro num dado comprimento, poder-se-á sempre ultrapassar esse comprimento. Este postulado tão claro, tão intuitivo, deixa no entanto de ser aplicável se a experiência de medida não puder penetrar numa zona proibida. Transpor esse domínio proibido não é percorrê-lo; é, pelo contrário, romper com os princípios da medida contínua. Pode pois ser-se levado a encarar uma geometria não-arquimediana. Uma tal geometria teria a vantagem de incorporar de algum modo no sistema de medida a substância refractária à medida (1). «Ao universo arquimediano a Física impõe a noção extralógica de substância, ao passo que nos quadros de unia geometria não-arquimediana a própria substância é reduzida às noções lógicas fundamentais de espaço e de tempo.» Por outras palavras, a substância é assimilada ao hiato da medida, e este hiato da medida não é um irracional pois que se soube inscrevê-lo no corpo de explicação racional. Pode ver-se aí um bom exemplo da flexibilidade racional trazida pelas diversas dialécticas que actuam na raiz dos postulados. Parece assim que o irracional pode dissolver-se em formas racionais apropriadas. O irracional não é pois um absoluto. Quanto mais solto está o espírito, menos compacto é o irracional.

Para falar verdade, as sugestões tão engenhosas de Coppel, Fournier e Yovanovitch não receberam um desenvolvimento pleno. Com efeito, a zona de proibição interna que caracterizaria um corpúsculo está como que perdida na zona de indeterminação externa implicada pela experiência complexa da localização. A intuição não-arquimediana poderia encontrar a sua aplicação na descrição de um espaço que contém corpúsculos imóveis. A cooperação do movimento e da substância vem complicar tudo. Remete-nos para as condições da medida física tal como a definiu Heisenberg.

111

Examinemos portanto agora a segunda perspectiva de objectivação científica descrita por Heisenberg, a que parte da representação corpuscular suposta correcta e que constrói, criticando-as, as noções ondulatórias.

(1) Coppel, Fournier e Yovanovitch, *Quelques suggestions concernant la matière et le rayonnement*, 1928, p. 23.

Tal exame é, aliás, extremamente difícil de situar no plano estritamente moderno e aí, talvez mais do que em qualquer outra teoria, os hábitos psicológicos antigos tiram a flexibilidade necessária a um pensamento em acordo absoluto com a ciência contemporânea. Com efeito, a construção das ondas a partir dos pontos materiais, tomados como realidades absolutas, é tão antiga como a concepção da propagação ondulatória da luz. Desde Huyghens, procurou-se incessantemente explicar o movimento oscilatório e a sua propagação graças a um meio mais ou menos material. Mesmo quando se defendia o carácter contínuo desse meio, ele era tratado como uma justaposição de corpúsculos. As teses sobre a estrutura francamente descontínua do éter são igualmente muito numerosas. Julga-se então estudar a propagação contínua da luz, mas praticamente só se traduz na intuição o movimento em presença enraizado nos corpúsculos separados. A propagação pouco a pouco só aparece sob a capa de desenvolvimentos matemáticos mais ou menos bem fundados na intuição. Em resumo, a construção das ondas está longe de ser levada a cabo na antiga física apesar da falsa clareza das soluções preconizadas.

Seja como for, Heisenberg dirige a sua crítica da física das ondas de uma maneira paralela à primeira crítica da física dos corpúsculos. Ele faz notar que as noções relativas às ondas, como a amplitude, a duração, a fase, «têm a sua origem nas experiências da vida quotidiana, tais como a observação da água ou das vibrações de um corpo elástico» (1). Não parecem portanto ligadas a corpúsculos mas sim a conjuntos complexos e deformáveis. Em relação a uma intuição fundada num mundo corpuscular, tais noções correspondem pois a fenómenos compostos. Por via de inferência, e não pela observação, tais noções foram utilizadas para explicar a propagação da luz ou, mais exactamente, as experiências de difracção e de interferência. Enfim, aplicaram-se com sucesso as mesmas noções aos fenómenos novos relativos às ondas anexadas ao movimento material. Todos estes êxitos legitimarão o realismo da construção? Tal é o problema epistemológico que se põe.

Eis então a questão essencial: poder-se-á fazer passar às ondas inferidas (ondas fresnellianas assim como ondas broglianas) todos os caracteres das ondas da fenomenologia imediata tais como as provocadas pela queda de uma pedra numa água tranquila? É de facto a questão estritamente paralela àquela que púnhamos quando nos perguntávamos se um electrão tinha

(1) Heisenberg, loc. cit., p. 39.

verdadeiramente todas as propriedades de um corpúsculo material. E eis a mesma resposta: do mesmo modo que a posição de um electrão é impossível de precisar, assim o conhecimento exacto das amplitudes em cada ponto de uma região ocupada por uma onda é manifestamente impossível. Qualquer experiência de medida só pode fornecer o valor médio da amplitude numa região do espaço e num intervalo de tempo que não podem ser reduzidos a um ponto e a um instante. Por outras palavras, a onda não se deixa concretizar à volta de um ponto material que se tornaria assim o suporte do movimento vibratório aceitando o ponto material como uma raiz correcta e real dos fenómenos. A velha física não podia portanto dar verdadeiramente propriedades vibratórias a um ponto material. Explicam-se então bastante filosoficamente os fracassos da Física antiga nas suas tentativas para constituir um éter descontínuo. No próprio fundo da intuição dos partidários do éter, havia já uma adesão ao facto de que a onda implica uma base extensa e põe em jogo um grupo contínuo de pontos. Quando se for levado a traduzir essa intuição num contínuo de probabilidade, não se fará mais do que obedecer a uma espécie de solidariedade inicial, implicada no facto de uma onda ser uma imagem sintética.

Assim, as duas imagens corpúsculos e ondas não chegam verdadeiramente a juntar-se. Só são claras se estiverem isoladas. Devem, em suma, permanecer uma e outra imagens e não pretender representar realidades profundas. Estas imagens serão, no entanto, instrutivas se soubermos tomá-las como duas fontes de analogias, se nos exercitarmos a pensar uma pela outra assim como a limitar uma pela outra. Ambas deram efectivamente as suas provas: a intuição do corpúsculo e dos seus movimentos deu origem à mecânica, a intuição da onda e da sua propagação deu origem à óptica física.

Como base para a psicologia científica, a intuição mecânica foi dominante durante muito tempo. Há portanto um verdadeiro interesse pedagógico em exercitar-se no estudo das doutrinas ondulatórias. Nada sublinha mais nitidamente a importância totalmente psicológica do problema do que estas observações de C. G. Darwin (1): «Temos efectivamente necessidade de outra coisa que não de simples princípios fundamentais: devemos, em particular, adquirir formas de pensamento que nos permitam prever fenómenos demasiado complicados para que possamos

(1) Darwin, «La théorie ondulatoire de la matière», apud, Annales de l'Institut Henri-Poincaré, fasc. I, vol. 1, p. 25 e 26.

tratá-los mecanicamente de uma maneira completa. Creio que para forjar essas novas formas de pensamento, deveríamos ter em conta o facto de o espírito humano ser dotado de uma grande inércia, e também, poderíamos nós dizer, de uma grande viscosidade: desloca-se sempre muito preguiçosamente de uma posição de equilíbrio para outra... Se quisermos alcançar mais rapidamente o equilíbrio, deveremos aplicar durante um tempo muito curto uma força muito superior à que é estritamente necessária para realizá-lo. Essa a razão por que eu penso que a melhor linha de conduta a adoptar na hora actual é insistir no aspecto ondulatório da teoria em detrimento do seu aspecto dinâmico, esperando chegar deste modo, no mais curto espaço de tempo, a um justo meio termo entre ambos.» Uma vez estabelecido tal equilíbrio, seremos levados a constatar um facto curioso, diz Darwin mais adiante: «Para os problemas referentes às partículas (ou o que nós pensamos serem partículas) devemos empregar os métodos da teoria das ondas, ao passo que para a luz, que nos parece ter um inegável carácter ondulatório, somos obrigados a utilizar a teoria das partículas.»

À acção pedagógica positiva que consiste em acentuar todas as lições fornecidas pelos fenómenos ondulatórios, seria preciso acrescentar, cremos nós, uma espécie de educação negativa -que consistiria em deitar por terra o realismo ingénuo formado na contemplação do movimento dos projecteis. Poder-se-ia, por exemplo, fazer sentir tudo o que há de inacabado e de gratuito na realidade atribuída por inferência aos corpúsculos luminosos. Afirmou-se demasiado depressa que a concepção dos fotões restaurava a antiga intuição dos corpúsculos de luz imaginados por Newton. Tais restaurações são possíveis no início de uma cultura científica, perante intuições primeiras intermutáveis, mas pensamentos rectificadados nunca voltam ao seu ponto de partida. Com efeito, todas as experiências mecânicas entre fotões fracassaram. Pôde, de facto, determinar-se o encontro de um fotão e de um electrão no efeito Compton; mas quando se pretendeu estudar o choque de dois fotões, a experiência foi negativa. Ela consistia no cruzamento de dois raios luminosos; por muito raros que sejam os fotões ao longo de um raio, não pode compreender-se a razão que impede toda a colisão no ponto de cruzamento dos dois raios. Mas o facto é patente: nunca se encontram fotões projectados no ângulo dos dois raios. Concluamos portanto este ponto com este tema de reflexão filosófica: nunca se pode patentear uma composição mecânica da luz ao passo que, nas interferências, se descobre muito facilmente uma composição ondulatória da luz.

Visando sempre o mesmo objectivo de educação negativa, recordemos as anomalias mecânicas do fotão. Ele teria uma

massa nula se pudéssemos concebê-lo em repouso. É dotado naturalmente dessa velocidade limite recusada aos corpos materiais. Bem entendido, a localização do fóton no feixe luminoso é atingida pelas relações de incerteza de Heisenberg. Vemos portanto acumularem-se, a propósito do fóton, as mesmas oposições qualitativas que se tinham revelado tão arbitrariamente associadas nas antigas doutrinas do éter. Na velha teoria realista do éter, tinha-se sido levado, por exemplo, a atribuir a este meio físico ao mesmo tempo uma extrema leveza e uma extrema elasticidade; ele era mais tênue do que um gás e mais elástico do que o aço. Parece que o materialismo da luz está assim votado de século em século às contradições experimentais. Todas estas dificuldades podem sugerir a ideia filosófica de que o fóton não pode ser reduzido totalmente à intuição corpuscular. A realização Inaterial do fóton revela-se portanto como uma intuição imperfeita. Em contrapartida, estas observações deveriam levar a ser-se menos exigente para o físico quando se lhe pedir que determine em pormenor a realização Iondulatória do electrão.

De uma maneira geral, quer para o fóton, quer para o átomo, temos de convencer-nos de que se deve falar antes de realização que de realidade. Como diz Margenau(1): «O reconhecimento de que o recurso realístico a certos dados naturais depende em grande parte dos nossos modos de compreensão tira ao realismo ingénuo uma grande parte do seu poder de persuasão.» A realização experimental depende num alto grau dos nossos modos de apreensão intelectual. Cabe à teoria dar os primeiros passos. Os fenômenos da microfísica têm necessidade de realistic appeal.

Quando se aprendeu a equilibrar as duas intuições do corpúsculo e da onda, quando se começou a resistir ao realismo ingénuo que desejaria constituir em todo o lado coisas de caracteres permanentes, quando se compreendeu o poder da experiência realizadora, está-se preparado para pôr em termos menos agudos o problema da relação dialéctica dos dois grandes aspectos fenomenológicos. Com efeito, por que razão se haveria de procurar uma espécie de ligação causal entre o corpúsculo e a onda se SC trata unicamente de duas imagens, de dois pontos de vista sobre um fenómeno complexo? De facto, as teses que representavam a onda piloto dirigindo o corpúsculo apenas trouxeram metáforas para traduzir a simples associação do corpúsculo e da onda. Tudo o que se pode dizer é que esta associação não é nem causal, nem substantiva. O corpúsculo e a onda não são

(1) Margenau, Monist, Julho de 1929.

coisas ligadas por mecanismos. A sua associação é de ordem matemática; devemos compreendê-los como momentos diferentes da matematização da experiência.

O conflito é de resto atenuado quando, com as teorias recentes, se interpretam as ondas como probabilidades de presença para os corpúsculos. A onda apresenta-se então nitidamente como uma expressão matemática que se estende normalmente * espaços de configuração cujo número de dimensões ultrapassa * número três, característico do espaço intuitivo. Compreende-se então que seja, por assim dizer, natural passar de novo destes espaços algébricos ao espaço ordinário que, no novo pensamento, já só deve ser tomado como um meio de ilustração, um lugar propício para as nossas imagens, sem jamais poder ser o plano adequado das relações completas. Assim, em relação a este problema filosófico posto pelos espaços de configuração, cremos nós que é caso para tentar uma transmutação dos valores realistas. Acusa-se sempre estes espaços de serem apenas espaços artificiais (1). Eles oferecem, no entanto, ao pensamento matemático o máximo de generalidade, de homogeneidade, de simetria. Do ponto de vista do pensamento sintético, são de algum modo mais reais do que o espaço ordinário. Podemos considerá-los como verdadeiras formas a priori da esquematização. A partir do momento em que se quer apresentar um esquema de um conjunto múltiplo é a espaços de configuração o que é preciso recorrer. São os espaços quase naturais para os estudos da probabilidade. Como é sabido, todo o estudo sobre relações que implica a probabilidade reclama uma visão sobre elementos muito numerosos. Essa visão implica um espaço rico em dimensões. E em tais espaços que há que procurar compreender o sentido da onda que regula a probabilidade de presença dos corpúsculos. Voltaremos seguidamente ao caso do espaço ordinário preenchido por uma matéria pesada e lenta em que os jogos do acaso são bastante monótonos para se apresentarem sob o aspecto de leis constantes. Em todo o caso, não é essa experiência demasiado pobre do provável verificada na macrofísica que pode servir de guia; essa experiência, cuja expressão é demasiado realista, deve ser reexaminada para receber o seu sentido probabilístico. Ao estudar as concepções matemáticas que penetram pouco a pouco a química contemporânea, dizíamos sob forma de conclusão polémica que a consistência de uma

(1) O físico Jeans diz justamente que um espaço a dez dimensões não é nem mais nem menos real que o nosso espaço a três dimensões, *The mysterious Universe*, p. 129.

substância química é de ordem numeral e probabilitária. Concluamos aqui da mesma maneira: a onda é um quadro de jogos, o corpúsculo é uma hipótese.

O problema do realismo das ondas e dos corpúsculos vai pois confundir-se pouco a pouco com o problema do determinismo e da probabilidade. Vamos abordar este último problema num capítulo especial.

DETERMINISMO E INDETERMINISMO

A NOÇÃO DE OBJECTO

Colocando-nos tanto quanto possível no plano psicológico, vamos apontar primeiro como é que as noções contrárias de determinismo e de indeterminismo puderam sucessivamente impor-se ao espírito científico moderno. Tentaremos em seguida mostrar que estes princípios são solidários das nossas concepções sobre as coisas, o espaço, o tempo, as formas, as funções. Eles devem, portanto, na nossa opinião, ser recolocados num plano psicológico complexo e apreendidos na ambiguidade da experiência e do sentimento.

Aperceber-nos-emos então de que a nossa psicologia do determinado e do indeterminado é quase paralela da psicologia da unidade e da pluralidade. Teremos então todos os elementos para pôr o problema do conhecimento provável.

Se se quisesse delinear a história do Determinismo, seria necessário retomar toda a história da Astronomia. É na profundidade dos Céus que se desenha o Objectivo puro que corresponde a um Visual puro. É sobre o movimento regular dos astros que se regula o Destino. Se alguma coisa é fatal na nossa

vida, é primeiramente o facto de uma estrela nos dominar e nos arrastar. Há pois uma filosofia do Céu estrelado. Ela ensina ao homem a lei física nos seus caracteres de objectividade e de determinismo absolutos. Sem esta grande lição de matemática astronómica, a geometria e o número não estariam provavelmente tão estreitamente associados ao pensamento experimental; o fenómeno terrestre tem uma diversidade e uma mobilidade imediatas demasiado manifestas para que aí se possa encontrar, sem preparação psicológica, uma doutrina do Objectivo e do Determinismo. O Determinismo desceu do Céu à Terra.

Mais perto de nós, foi a astronomia newtoniana que deu o seu rigor à doutrina das categorias kantianas, o seu absoluto às formas a priori de espaço e de tempo. Foi essa astronomia que fundou a Física Matemática moderna. Os fenómenos astronómicos representam de algum modo a forma mais objectiva e mais estreitamente determinada dos fenómenos físicos. A astronomia é pois o conhecimento mais apto a proporcionar ao espírito científico hábitos fundamentais, formas que, por não estarem a priori na percepção, poderiam ser com bastante justeza ditas a priori, na reflexão. Assim, acompanhando o desenvolvimento da astronomia até ao século passado, podemos dar-nos conta do duplo sentido que comporta o Determinismo, tomado ora como um carácter fundamental do fenómeno, ora

como a forma a priori do conhecimento objectivo. Com frequência, é a passagem subreptícia de um sentido para o outro que provoca confusão nas discussões filosóficas.

Esta origem astronómica do Determinismo parece-nos explicar a longa negligência dos filósofos pelos problemas relativos às perturbações, aos erros, às incertezas no estudo dos fenómenos físicos. É nessa franja de erros que se fundamentará tardiamente o Indeterminismo científico. No próprio plano da Astronomia, não deve esquecer-se que o pensamento relativo às perturbações é um pensamento essencialmente moderno. Delambre recorda-nos que, segundo Pemberton, constitui prova de um grande discernimento em Newton o ter menosprezado algumas desigualdades pouco importantes. Fez-se muitas vezes observar que a precisão nas medidas astronómicas teria prejudicado a descoberta das leis. Para que o mundo parecesse regulado, era preciso que as leis descobertas em primeiro lugar fossem matematicamente simples. O determinismo só podia impor-se por intermédio de uma matemática verdadeiramente elementar. Foi essa matemática elementar que reforçou por uma espécie de marca de necessidade a ligação constante que parecia apresentar um empirismo mais ou menos simplificado. A observação mais ou menos exacta era acompanhada de uma previsão

mais ou menos precisa para fundamentar de facto e de direito o Determinismo.

O problema da forma dos objectos astronómicos seria talvez ainda mais instrutivo do que o problema da sua trajectória. Durante muito tempo, pretendeu-se que os corpos celestes fossem geometricamente simples. Por isso, que prodigioso espanto quando as medidas geodésicas revelaram a forma achatada do globo terrestre! É então que se chama a Moreau de Maupertuis «o intrépido aplanador da Terra!» E, no entanto, que outra prova se tinha de que a Terra era esférica para além do facto de se poder dar uma volta em seu redor? Tinha-se de resto a convicção de que a forma não intervinha no movimento, de que era um elemento que não tinha importância para a previsão dos factos astronómicos; as pessoas apoiavam-se tacitamente numa hierarquia dos caracteres; eliminavam-se os caracteres secundários. É esta hierarquia que dá uma impressão de rigor ao Determinismo.

Em resumo, a concepção matemática do Mundo é primeiramente inspirada pela intuição das formas simples. Essa intuição leva a resistir muito tempo à ideia de deformação dos corpos celestes e à ideia da perturbação das trajectórias. O Determinismo é então uma consequência da simplicidade da geometrização primária. O sentimento do determinado é o sentimento da ordem fundamental, o repouso de espírito que dão as simetrias, a segurança das ligações matemáticas.

Desde que se compreendeu que a psicologia do Determinismo é derivada dos esforços para racionalizar o real, penetra-se melhor na psicologia da deformação e da perturbação. A própria ideia de deformação e de perturbação - ideia que só ganha verdadeiramente todo o seu sentido com o desenvolvimento científico do século XIX - prova que se mantém em espírito quer a lei quer a forma primeiras. É a partir dessa forma e dessa lei que se pensa nas derrogações. Verifica-se neste caso um curioso pensamento em dois tempos. O determinismo é contemporâneo da primeira informação. A desorganização trazida pelas perturbações mantém-se superficial, pensa-se. É assim que a astronomia e a geometria misturadas põem em primeiro lugar ao abrigo da dúvida o carácter determinado do devir fenomenal.

Se se pudesse esquecer agora a lição filosófica inicial da Astronomia e se se considerasse, primeiro que tudo, o fenómeno

terrestre no seu aspecto imediato, reconhecer-se-ia que a observação não pode praticamente ensinar-nos o Determinismo. É esse, a nosso ver, um ponto muito importante, porque é a observação imediata e não a reflexão nem a experimentação que fornece as primeiras formas psicológicas. Compreender-se-á então a necessidade que se tem de ensinar o Determinismo, rectificando a observação pela experimentação. Uma única observação filosófica basta para provar que a observação imediata não descobre o determinismo: o determinismo não liga todos os aspectos do fenómeno com o mesmo rigor. A divisão do pensamento em lei e perturbação é unia divisão que deve ser refeita a propósito de cada estudo particular. No estudo do devir dos fenómenos, as linhas experimentais são marcadas de espaço a espaço por urna espécie de nós. O determinismo vai de um nó ao nó seguinte, de uma causa bem definida a um efeito bem definido. Basta considerar o entre-nó para ver processos particulares cuja ineficácia se postulou tacitamente. Dêmos um exemplo grosseiro. A greda-branca e o vinagre fazem efervescência quando estão em presença. A própria duração do fenómeno não influi no resultado final. Pode pois tomar-se a duração como uniforme. No entanto, se quiséssemos estudar o pormenor da evolução dar-nos-íamos conta de que um outro encadeamento temporal deve ser colocado no entre-nó. A evolução tem uma história. Não há portanto determinismo sem uma escolha, sem uni pôr de parte fenómenos perturbadores ou insignificantes. De resto, com muita frequência um fenómeno é insignificante porque não há o cuidado de interrogá-lo. No fundo, o espírito científico não consiste tanto em observar o determinismo dos fenómenos como em determinar os fenómenos, em tomar as precauções para que o fenómeno definido previamente se produza sem excessivas deformações.

Este espírito de simplificação que está na base da concepção determinista explica precisamente o êxito da hipótese mecanicista. Talvez nunca a explicação e a descrição tenham estado tão afastadas uma da outra como na era do mecanicismo. Se se colocasse de novo a descrição como base da fenomenologia, dar-nos-íamos imediatamente conta de que o determinismo é um postulado da mecânica e só é verificado na proporção muito mínima em que a mecânica explica o fenómeno. Donde o ideal do período mecanicista: para que tudo seja determinado no fenómeno é preciso que tudo nele seja redutível às propriedades mecânicas.

Poder-se-ia acrescentar que a nossa crença no determinismo dos fenómenos assenta numa redução dos fenómenos à mecânica clássica elementar. Com efeito, Cartan faz as seguin-

tes observações (1): «No sentido habitual da palavra, afirmar o determinismo físico é afirmar que o estado do Universo num dado momento determina completamente a sua evolução ulterior. É preciso, bem entendido, precisar o que se entende por estado do Universo. A mecânica clássica do ponto material está conforme com o determinismo, na condição de se chamar estado de um ponto num instante dado ao conjunto da sua posição e da sua velocidade... O que complica um pouco as coisas é precisamente o facto de a teoria da relatividade nos ter ensinado que o tempo é inseparável do espaço; falar do estado do Universo num dado instante não tem portanto um sentido absoluto; é preciso na realidade falar do estado do Universo numa secção a três dimensões do espaço-tempo. Mas apresentam-se então outras dificuldades para as quais Hadamard chamou a atenção. Há de facto um determinismo matemático e um determinismo físico. Pode acontecer que o estado do Universo numa secção a três dimensões arraste consigo o estado do Universo nas secções vizinhas sem que o físico possa constatar-lo: isso deve-se ao facto de uma variação muito débil do estado do Universo na

secção dada poder arrastar consigo variações enormes numa

secção tão próxima quanto se queira da primeira; a dependência dos estados nas duas secções é assim completamente encoberta ao físico.» Assim, o determinismo matemático fundado em con-

sequências não se aplica tão exactamente como se julga num

determinismo físico que estaria fundado numa causa. Por outras palavras, a causa nem sempre é definível em termos matemáticos unívocos. Ela é um estado escolhido entre outros estados possíveis. E esta profusão de possibilidades não assenta na escolha de um instante particular tirado do eixo da duração absoluta; está já fundada num instante único sobre o qual se podem apoiar cortes diferentemente orientados no espaço-tempo. Falar de um estado do Universo em um instante determinado é entregar-se não apenas ao arbitrário do instante escolhido, mas ainda ao arbitrário do estado no próprio instante.

Aliás, são visíveis outras simplificações arbitrárias de natureza mais simples. Observou-se muitas vezes que a mecânica se apresentava historicamente como uma mecânica do sólido. Tudo o que se refere à mecânica dos fluidos é muito mais tardio. Não devemos então espantar-nos de ver o determinismo ilustrado pelas relações dos sólidos entre si. No ressalto de dois sólidos após um choque, ver-se-ão de novo, julga-se, as mesmas

(1) Cf., «Le parallélisme absolu et la théorie unitaire du champ», apud, Rev. de mét. et de inor., Janeiro de 1931, p. 32.

coisas em movimentos diferentes; assumir-se-á o direito de determinar todo o fenómeno pela análise dos movimentos antes e depois do choque, como se aí se tivesse a análise suficiente do fenómeno causa e do fenómeno efeito. Como se vê, o determinismo é solidário de uma análise metafísica da fenomenologia separada em dois aspectos: a coisa e o movimento. Examinaremos seguidamente a validade deste dualismo metafísico. Desde já se vê que bastaria colocar o observador diante dos fenómenos mais complexos da hidrodinâmica para trazer uma verdadeira perturbação às intuições fundamentais do Determinismo. Como a coisa líquida é deformada pelo movimento, parece que o mesmo e o outro interferem e que o determinismo se divide e se torna ambíguo. Quando se resiste a esta conclusão e se tomam os fenómenos da hidrodinâmica como claramente determinados é precisamente porque se introduzem no seu estudo as intuições do determinismo aprendido na mecânica dos sólidos.

Em resumo, todas estas observações gerais tendem a provar que a psicologia do determinismo é feita de verdadeiras restrições experimentais. Considerem-se os ensinamentos da astronomia e da mecânica, revivam-se as intuições formadas diante do fenómeno imediato, e ver-se-á que o Determinismo parte de escolhas e de abstrações e que, pouco a pouco, se torna numa verdadeira técnica. O determinismo científico prova-se com base em fenómenos simplificados e solidificados: o 'causalismo' é solidário do 'coisismo'. O determinismo mecânico prova-se com base numa mecânica mutilada, entregue à análise incorrecta do espaço-tempo. O determinismo da ciência física prova-se com base em fenómenos hierarquizados, elevando variáveis particulares. O determinismo da ciência química prova-se com base em corpos purificados, referindo-se a qualidades enumeradas. Se se reflectir agora em que essas intuições mecânicas simplificadas correspondem a mecanismos simples, que esses fenómenos físicos tecnicamente hierarquizados são também verdadeiras máquinas, que os corpos purificados são enfim verdadeiras construções químicas, dever-se-á ficar impressionado com o carácter técnico do determinismo científico. A verdadeira ordem da Natureza é a ordem que nós pomos tecnicamente na Natureza. Pouco a pouco, quando se

chega às provas precisas e sobretudo ao ensino do determinismo, damo-nos conta de que para ensinar correctamente o determinismo é preciso manter cuidadosamente as formas, apartar as

leis, purificar os corpos, sem o que a evolução do fenómeno só comunicará ao observador admiração e fantasia.

O problema do Determinismo colocado assim à luz de um ensinamento necessário à constituição de um espírito científico não é assim tão mal posto como se poderia julgar, porque no que se refere à psicologia do espírito científico, a via do ensinamento continua a ser uma via de pensamento sempre efectiva. Não sucederia o mesmo se o espírito científico assentasse em crenças, em elementos estáticos, em axiomas não discutidos. Poderia então imaginar-se que a crença no determinismo está na base de todos os nossos pensamentos, e, por isso, para além de toda a discussão. Ora, não é difícil mostrar que o Determinismo é precisamente o objecto de uma discussão, o tema de uma polémica quase diária na actividade do laboratório. Visto sob este aspecto, o problema do Determinismo vai levar-nos a catalogar os argumentos, a dividir ainda as noções, tarefa modesta mas que nos parece útil porque é preciso conseguir dissolver esse enorme bloco do Determinismo metafísico que pesa sobre o pensamento científico. Distinguiremos portanto o determinismo negativo e o determinismo positivo. Para já, só pretendemos uma coisa: que tal distinção é legitimada pela polémica da prova. Se alguém duvida que uma linha particular de fenómenos pode ser concebida como determinada, definir-se-á um estado do fenómeno e prognosticar-se-á um estudo subsequente do fenómeno evoluído que se definirá com a maior precisão possível. A prova será tanto mais convincente quanto mais exacta for a descrição do fenómeno. Mas tal exactidão tem limites. Ser-se-á então obrigado a confessar uma ligeira ignorância, uma ligeira flutuação na predição. Em contrapartida, ser-se-á muito mais dogmático para predizer o que o fenómeno esperado não será. Aí, atingiremos o absoluto, o categórico, o determinado sem pecha. Estaremos absolutamente certos de que a carga arrastada por um íman de bolso não ultrapassará um quilograma, tal como uma companhia de seguros tem a certeza absoluta de que nunca a vida de um cliente ultrapassará os mil anos. Se se manifestar a menor dúvida, é a tais hipóteses exageradas que se recorrerá para restabelecer a fé. A psicologia do Determinismo funda-se assim numa espécie de zona vazia. Uma vez restabelecida a fé, volta-se às predições positivas; diz-se de facto o que será o fenómeno: prega-se a convictos prontos a reconhecer o fenómeno a um sinal. Mas reconhecer não é conhecer. Reconhece-se facilmente aquilo que não se conhece.

Aqui, apresenta-se uma objecção. Não haverá sinais distintivos, sinais peremptórios? Assim, um precipitado químico tem uma cor que basta para reconhecer e para predizer o resultado de uma reacção. Essa cor é sem dúvida característica, designa de facto um corpo entre outros corpos. Indo no entanto ao fundo da certeza do químico aperceber-nos-emos de que ela

se enuncia também sob forma de exclusões progressivas, afastando precisamente os casos em que haveria ambiguidade. Além disso, quando o químico identificou o metal de um sal, nada disse sobre a pureza do sal, por conseguinte, não eliminou a presença de outros metais no estado de impureza. Bastará ser exigente, ou seja, exigir mais precisão sobre os produtos obtidos numa reacção, para fazer vacilar a profecia da experimentação. No fundo, o verdadeiro determinismo baseia-se psicologicamente em juízos negativos. Só o determinismo niilista acaba a polémica interminável da prova positiva. A comunhão dos espíritos realiza-se na negação. A união objectiva perfeita funda-se numa espécie de não-objecto.

Estas reflexões preliminares não fazem mais do que analisar no plano psicológico as condições da prova para o Determinismo. Podem dar uma medida da determinação dos fenómenos fazendo o balanço daquilo que é necessário para que um fenómeno pareça determinado, precisando os elementos da descrição que valem para a previsão.

Quando se tomou esse balanço explícito, damo-nos conta de que a causalidade e o determinismo não são de modo nenhum absolutamente sinónimos e que a psicologia da causa está longe de ser tão solidária como se julga da psicologia do determinismo. Como muito bem diz Von Mises (1): «O princípio de causalidade é móvel (wandelbar) e subordina-se ao que a física exige.» Nós diríamos mais geralmente que o princípio de causalidade se subordina ao que o pensamento objectivo exige e que, por isso, ele pode de facto ser dito ainda a categoria fundamental do pensamento objectivo. Com efeito, a psicologia da ideia de causa constituiu-se sem se sujeitar às definições ultraprecisas que nós reclamávamos para fundar o Determinismo. Da causa ao efeito, há uma ligação que, até um certo ponto, subsiste a despeito das alterações parciais da causa e do efeito. A causalidade é portanto muito mais geral do que o determinismo. Seria impossível prová-lo positivamente, digamo-lo uma vez mais, se se entrasse na definição minuciosa dos estados. Com efeito, a dilatação dos sólidos é um fenómeno estatístico que releva da probabilidade ao mesmo título que a dilatação dos gases. Esta última assimilação, pela resistência primária que encontra num espírito desatento, basta

(1) Von Mises, «Ueber kausale und statistische Gesetzmässigkeit in der Physik», apud Die Naturwissenschaften, 14 de Fevereiro de 1930, p. 146.

para provar a injustiça do privilégio atribuído às intuições dos sólidos.

Se nos acompanhassem no nosso esforço de distinção dos conceitos fundamentais da epistemologia, poder-se-ia talvez aceitar, para explicar a confusão constante do determinismo e da causalidade, uma espécie de determinismo topológico que corresponderia a ligações funcionais e que operaria na transformação em conjuntos gerais, da mesma maneira que opera no ser geométrico a Analysis Situs. Ver-se-ia então constituir-se uma Analysis Crisis que iria de um fenómeno organico a um outro fenómeno orgânico. Que importa a quantidade quando a qualidade se mantém manifesta! Que importa mesmo o conjunto das qualidades quando certas qualidades permanecem características! A análise causal funda-se numa hierarquia evidente das qualidades e para tal análise a determinação da quantidade é de pouco interesse.

Não se trata de uma simples visão do espírito filosófico; com efeito, é realmente assim que pensam o matemático e o experimentador. O sábio nem sempre mede; esforça-se, em primeiro lugar, por captar a correspondência dos fenómenos e reflecte muitas vezes nessa correspondência sem medir todas as variações. É na ligação de sinal a sinal, com maior frequência do que na ligação de número a número, que ele encontra as lições primordiais do determinismo. A sua fé é rigorosa porque certas experiências escapam à preocupação de rigor. Para além das verificações métricas muitas vezes dispersas, há portanto lugar para as verificações do determinismo topológico que nos mostra que um fenómeno não se altera com uma ligeira variação dos seus traços.

Vamos, de resto, retomar o problema de um ponto de vista diametralmente oposto. Vamos perguntar-nos como é que a psicologia do indeterminismo pôde aparecer no próprio espírito científico. Veremos que, partindo da consideração dos fenómenos desordenados, o sábio teve a surpresa de ver que se lhe impunha a ele próprio o mesmo determinismo de conjunto, fundado em permanências mais ou menos legítimas, mais ou menos exactas, mas cuja existência está no entanto assegurada.

11

Se se permanecer, como convém, no campo científico, as primeiras teses indeterministas a considerar são as que formam a base da teoria cinética dos gases. Esta teoria trouxe uma trans-

81

NCE-6

formação profunda e durável do espírito científico. Impressionou um grande número de filósofos. Abel Rey, entre outros, estabeleceu a sua importância filosófica em vários dos seus livros. Podemos portanto ser breves.

Na nossa opinião, o carácter metafísico mais profundo da teoria cinética dos gases é o facto de ela realizar uma transcendência da qualidade, no sentido de que uma qualidade que não pertence aos componentes pertence, no entanto, ao composto. É contra esta transcendência que os espíritos lógicos protestam sem fim. Para dar apenas um exemplo muito recente, citemos esta passagem de Peter A. Carmichael (1). Ele assinala como um erro importante o facto de o comportamento dos elementos ser «impredicável (isto é, indeterminado, para a física contemporânea), ao passo que o comportamento médio de um grande número de elementos é predicável (isto é, determinado). Por outras palavras, o objecto individual é indeterminado, a classe é determinada. Mas isso viola claramente a axioma de *omni et nullo* e, por conseguinte, é contraditório em si. Aplica-se a mesma conclusão a todas as pretensas leis e às probabilidades estatísticas nas quais uma propriedade é afirmada relativamente a uma classe de objectos e negada aos objectos tomados separadamente, pois que de outro modo haverá uma lacuna entre a classe e os objectos... O único meio deixado ao cientista é negar o axioma de *omni et nullo*, ou seja, falar em termos contraditórios em si, e é o que ele faz quando subscreve a doutrina do indeterminismo». É, no entanto, esta contradição metafísica que é preciso ultrapassar. Na realidade, ela é atenuada por intermédio da noção de probabilidade. Ora, a lógica da probabilidade está longe de estar constituída e o axioma de *omni et nullo* que vale para os componentes de objectos não se aplica sem reserva a probabilidades compostas.

Sem insistir mais na questão prévia dos lógicos, tentemos pois circunscrever o indeterminismo. Supõe-se que na base da construção estão comportamentos imprevisíveis. Nada se sabe, por exemplo, sobre o átomo que é tomado apenas como o sujeito do verbo ressaltar na teoria cinética dos gases. Nada se sabe sobre o tempo em que se completa o fenómeno do choque; como é que o fenómeno elementar seria previsível quando nem sequer é «visível», isto é, susceptível de uma descrição precisa? A teoria cinética dos gases parte pois de um fenómeno elementar indefinível, indeterminável. É verdade que indeterminável não é de modo nenhum sinónimo de indeterminado. Mas quando um

(1) Cf., «*Logic and scientific law*», apud *Monist*, Abril de 1932.

espírito científico provou que um fenômeno é indeterminável, constitui para ele um dever de método considerá-lo como indeterminado. Ele aprende o indeterminismo com base no indeterminável.

Ora, pôr em acção um método de determinação a propósito de um fenómeno é supor que esse fenómeno está sob a dependência de outros fenómenos que o determinam. De um modo paralelo, se se supõe a indeterminação de um fenómeno, supõe-se concomitantemente a sua independência. A enorme pluralidade que representam os fenómenos de choque entre as moléculas de um gás revela-se portanto como uma espécie de fenómeno geral pulverizado em que os fenómenos elementares são estritamente independentes uns dos outros.

É então que pode intervir o cálculo das probabilidades. Sob a sua forma mais simples, este cálculo é fundado na independência absoluta dos elementos. Se houvesse a menor dependência, haveria uma perturbação na informação propabilística e seria necessário um esforço sempre difícil para ter em conta uma interferência entre as ligações de dependência real e as leis de estrita probabilidade.

Eis pois qual nos parece ser a linha de conceitos que a probabilidade implantou no pensamento científico.

Ora, a psicologia da probabilidade está longe de estar constituída, tem contra ela toda a psicologia da acção. O homo faber prejudica o homo aleator; o realismo prejudica a especulação. Há mentalidades de físico impenetráveis à ideia das construções de probabilidade. Henri Poincaré evoca a curiosa incompreensão de Lord Kelvin a este respeito. «Coisa estranha», diz Poincaré (1), «Lord Kelvin estava ao mesmo tempo seduzido e sobre certos pontos refractário. Nunca pôde dar-se conta da generalidade do teorema de Maxwell-Boltzmann. Ele supunha que este teorema devia comportar excepções e, depois de se lhe ter mostrado que uma excepção que ele julgara descobrir era só aparente, procurava uma outra.» Assim Lord Kelvin, que «compreendia» os fenómenos naturais com a ajuda de modelos giroscópicos, achava, de alinim modo, irracionais as leis do cálculo das probabilidades. @_em assimilar esta noção das leis do acaso, das ligações propabilísticas dos fenómenos sem ligação real, que se ocupa o pensamento contemporâneo. Este pensamento nascente é caracterizado por uma multiplicidade nas hipóteses de base. Neste ponto estamos no reino das hipóteses de trabalho. Acolhemos métodos estatísticos diferentes que têm uma eficácia

(1) Poincaré, *Savants et écrivains*, p, 237.

limitada. Os princípios da estatística de Bose-Einstein, por um lado, e os da estatística de Fermi, por outro, embora contraditórios, prestam serviços em diferentes partes da física.

Apesar das suas bases incertas, a fenomenologia probabilística já realizou construções notáveis. Como dizíamos um pouco mais atrás, estas construções parecem transcender os domínios qualitativos separados. Assim, a noção de temperatura é explicada cineticamente. Na realidade, esta transcendência é talvez mais verbal do que real. Como muito bem diz Eugène Bloch (1) «o princípio da equivalência do calor e do trabalho é de algum modo materializado desde o início pela própria concepção que se faz do calor». Nem por isso é menos verdade que as qualidades se exprimem uma pela outra e que mesmo supondo uma base mecânica na teoria cinética dos gases, a verdadeira força explicativa reside na composição das probabilidades. Assim, é sempre necessário acabar por aceitar a experiência da probabilidade. Há lugar para um positivismo do provável, na verdade bastante difícil de situar entre o positivismo da experiência e o positivismo da razão.

Não há que supor que probabilidade e ignorância sejam sinónimos pelo facto de a probabilidade se apoiar na ignorância das causas. Como diz Margenau com uma grande finura (2): «Há uma grande diferença entre estas duas expressões: um electrão está algures no espaço, mas não sei onde, não posso saber onde; e: cada ponto é um lugar igualmente provável para o electrão. Com efeito, a última afirmação contém a mais, relativamente à primeira, a garantia de que se eu executar um número muito elevado de observações, os resultados serão distribuídos regularmente em todo o espaço.» Vê-se portanto aparecer o carácter totalmente positivo do conhecimento provável.

Há que não continuar a assimilar o provável ao irreal. A experiência da probabilidade pode explicar o motivo dos nossos c@eficientes de expectativa psicológica em relação às probabilidades mais ou menos nitidamente aritmetizadas. O problema é, sem dúvida, muito impreciso pois reúne assim duas massas vagas e confusas, mas não é de modo nenhum irreal. Talvez se possa mesmo falar de uma causalidade do provável. Nunca se meditará demasiado longamente no princípio probabilístico proposto por Bergmann (3): «O acontecimento que pos-

(1) Eugène Bloch, La théorie cinétique des gaz, p. 2. (2) Margenau, Monist, Julho de 1929, p. 29. (3) Bergmann, Der Kampf um das Kausalgesetz in der jungsten Physik,

sui a maior probabilidade matemática acontecerá na natureza com uma frequência maior correspondente.» O tempo encarrega-se de realizar o provável, de tornar efectiva a probabilidade. Dá-se a passagem de unia lei de algum modo estatística, calculada a partir das probabilidades adicionadas num instante, a um desenvolvimento temporal. Não é porque as probabilidades são expostas habitualmente como ocorrências que o fenómeno que elas designam deve acontecer. Da probabilidade a priori à probabilidade a posteriori há o mesmo abismo que entre a geometria lógica a priori e uma descrição geométrica a posteriori do real. Que haja então coincidência entre a probabilidade calculada e a probabilidade mensurada é talvez a prova mais delicada, mais subtil e mais convincente da permeabilidade da natureza pela razão. Esta racionalização da experiência do provável deve, sem dúvida, realizar-se pela correspondência da probabilidade e da frequência. Campbell porá também no átomo uma espécie de realismo do provável: «O átomo está a priori mais apto a assumir um dos estados mais favorecidos do que um dos menos favorecidos.» (1) Assim, a realidade ajudada pela duração acaba sempre por incorporar o provável no ser.

De resto, pense-se o que se pensar desta visão metafísica, pode-se pelo menos reter que a ciência moderna nos habitua a manejar verdadeiras formas prováveis, coisas estatísticas, objectos dotados de qualidades hierárquicas cuja permanência não é de modo nenhum absoluta. Referimo-nos, aliás, ao interesse pedagógico que haveria em fazer acompanhar a instrução que recebemos dos sólidos pela instrução que poderíamos receber dos fluidos, das massas, dos aglomerados. Encontraríamos nessa via, acima do indeterminismo de base, esse indeterminismo topológico dos comportamentos gerais que aceita, ao mesmo tempo, as flutuações e a probabilidade. Os fenómenos tomados na sua indeterminação elementar podem portanto ser compostos pela probabilidade e assumir assim figuras de conjunto. É sobre tais figuras de conjunto que joga a causalidade.

Hans Reichenbach apontou em algumas páginas luminosas as relações exactas da ideia de causa e da ideia de probabilidade(2). Ele mostra que as mais rigorosas leis exigem a inter-

(1) N. R. Campbell, *Théorie quantique des spectres*, trad. 1924, p. 100. (2) Reichenbach, *La philosophie scientifique*, trad. Vouilic", 1932, pp. 26, 27 e 28,

pretação probabilística. «As condições que se submetem ao cálculo nunca são, de facto, realizadas; assim, no cálculo de um movimento de um ponto matéria), de um projectil, por exemplo, estamos na impossibilidade de ter em conta todos os factores que intervêm. Se, não obstante, podemos fazer excelentes previsões, devemos-lo à noção de probabilidade, que exprime uma lei para os factores não considerados no cálculo.» E conclui que toda a aplicação ao real das leis causais implica uma consideração de probabilidade. Propõe a substituição do enunciado causal tradicional pelos dois seguintes:

«I. Se se descreve um fenómeno por meio de um certo número de parâmetros, o estado ulterior, igualmente definido com um número de parâmetros bem determinado, pode ser previsto com uma probabilidade E,

11. Essa probabilidade E aproxima-se da unidade à medida que vai aumentando o número dos parâmetros tidos em conta.»

Por conseguinte, se pudessem ser tidos em conta todos os parâmetros de uma experiência real - se a palavra todos tivesse um sentido numa experiência real - poder-se-ia dizer que o fenómeno produzido está certo em todos os seus pormenores, que ele é inteiramente predeterminado. Raciocinando assim passa-se o limite e é esta passagem do limite que efectuam sem precaução os filósofos deterministas. Fornecem a si próprios em pensamento todas as condições sem se perguntarem se elas são enumeráveis, se por consequência se pode verdadeiramente dispor «desses dados». Na realidade, o sábio actua sempre seguindo implicitamente o primeiro enunciado e apoiando-se em alguns parâmetros característicos; é a propósito destes parâmetros que a ciência faz trabalho de previsão. Tais parâmetros constituem os eixos da previsão. Mas pelo simples facto de se terem descurado elementos, a previsão só se exprime de um modo probabilístico. Em resumo, pode haver convergência da experiência para o determinismo, mas definir o determinismo de outro modo que não como uma perspectiva convergente de probabilidade é cometer um erro notável. Como diz muito bem Reichenbach, «muitas vezes esquece-se esta definição por meio de um enunciado de convergência; intervêm então representações completamente erradas a propósito do conceito de causalidade, particularmente a de que a noção de probabilidade pode ser afastada. São conclusões falsas, como se verifica quando se define a noção de derivada pela relação de duas grandezas infinitamente pequenas».

Reichenbach faz então uma objecção da maior importância. Nada prova a priori, diz ele, que a probabilidade de toda a espécie de fenómeno tenha necessariamente uma convergência para a unidade. «Presente-se aqui que as leis causais podem ser, de

<@6

facto, necessariamente reduzidas a leis estatísticas.» Continuando a comparação de Reichenbach diríamos que pode haver leis estatísticas sem convergência causal do mesmo modo que há funções contínuas sem derivada. Estas leis estatísticas estariam associadas a uma negação do segundo postulado de Reichenbach. Dariam lugar a uma física não-causal, ainda no mesmo estilo em que a negação do postulado de Euclides permite definir uma geometria não-euclidiana. Na realidade, Heisenberg apresentou razões orgânicas para a negação do segundo postulado de Reichenbach. A partir de Heisenberg constitui-se pois uma física não-determinista, muito afastada naturalmente da negação brutal e dogmática das teses do Determinismo clássico. A física indeterminista de Heisenberg absorve muito mais a física determinista fixando com precisão as condições e os limites nos quais se pode considerar um fenómeno como praticamente determinado. Devemos portanto considerar um pouco de mais perto as observações de Heisenberg.

III

O conflito entre o determinismo e o indeterminismo científicos estava de algum modo suavizado quando a revolução de Heisenberg veio pôr de novo tudo em causa. Esta revolução tende nada mais nada menos que a estabelecer uma indeterminação objectiva. Até Heisenberg, os erros sobre as variáveis independentes eram postulados como independentes. Cada variável podia dar lugar separadamente a um estudo cada vez mais preciso; o experimentador julgava-se sempre capaz de isolar as variáveis, de aperfeiçoar o seu estudo individual; tinha fé numa experiência abstracta em que a medida só tinha como obstáculo a insuficiência dos próprios meios de medida. Ora, com o princípio de incerteza de Heisenberg, trata-se de uma correlação objectiva dos erros. Para encontrar o lugar de um electrão, é preciso elarificá-lo por meio de um fotão. O encontro do fotão e do electrão modifica o lugar do electrão; modifica, aliás, a frequência do fotão. Em microfísica, não há portanto método de observação sem acção dos processos do método sobre o, objecto observado. Há pois uma interferência essencial do método e do objecto.

A observação geral de Heisenberg foi imediatamente traduzida numa desigualdade matemática. Se se designar a posição pela variável q e a quantidade de movimento conjugada pela variável p , haverá entre o erro Δq sobre q e o erro Δp sobre p

uma espécie de compensação que estará de acordo com a desigualdade

$6p \cdot 6q > h$,

em que h é a constante de Planck. Variáveis mais numerosas associam-se de igual modo aos pares obedecendo a esta desigualdade fundamental. Expõe-se na maioria das vezes a relação entre a precisão na medida de um parâmetro de posição e a precisão na medida de um parâmetro de momento cinético; mas pode igualmente demonstrar-se a sua existência entre a energia e o tempo; podemos estabelecê-la mais geralmente ainda numa interpretação estritamente matemática, quando os parâmetros perderam a sua intuitividade.

Finalmente, a simples observação metodológica de Heisenberg foi sistematizada a ponto de estar doravante inscrita no limiar de todo o método microfísico, melhor ainda, a relação de incerteza fornece por si só um verdadeiro método. Serve de algum modo para pensar o microfenómeno nas suas dualidades essenciais. Bohr observou que a relação de Heisenberg estava colocada na fronteira comum das duas intuições fundamentais

- corpuscular e ondulatória. Esta relação constitui, por assim dizer, o pivot em torno do qual se podem fazer girar as duas intuições unilaterais. «Segundo Bohr, diz Heisenberg (1), obtém-se de uma maneira muito simples essa limitação partindo do princípio de que todas as questões de física atómica devem poder representar-se intuitivamente tanto do ponto de vista corpuscular como do ponto de vista ondulatório.» Note-se de passagem que o domínio atómico se apresenta como o lugar de Junção das intuições contrárias, o que não surpreende os filósofos que estão a par da história das doutrinas atomísticas.

O dualismo objectivo que resulta da filosofia de Heisenberg deve sem dúvida repercutir-se nas mais variadas associações qualitativas. Assim, na sua tese sobre «a electrodinâmica e a teoria dos quanta» (1931), J. Solomon faz esta observação (p.2): como os campos eléctrico E e magnético H são definidos por meio de um electrão, a sua determinação simultânea é de facto marcada pela mesma impossibilidade que a determinação simultânea do lugar e da velocidade de um electrão num átomo; a partir daí «se se tiver em conta o princípio de Heisenberg de utilizar apenas grandezas que sejam efectivamente meúsuráveis,

(1) Heisenberg (loc. cit., p. 9) fornece uma demonstração explícita da observação de Bohr.

seremos levados a admitir que E e H não podem ser mensurados simultaneamente». Aplicando estas simples observações, quase sem cálculo, J. Solomon chega a prever relações de incerteza entre as diferentes componentes do tensor electromagnético e termina numa teoria da quantificação dos campos, já desenvolvida menos directamente por Dirac, Pauli, Jordan, Heisenberg.

Não pode deixar de se ficar impressionado com esta divisão qualitativa que separa de algum modo os caracteres eléctrico e magnético do campo electromagnético por saudáveis razões de método. O pensamento realista tinha uma certa inclinação para realizar o campo electromagnético. Pondo um traço de união entre dois adjectivos, baseando na mesma palavra electromagnético duas possibilidades experimentais, o físico realista julgava trabalhar sob o signo de um objecto real. Não hesitava então em inscrever o campo no próprio espaço. Postulava um éter físico para melhor gravar os caracteres geométricos dos campos no espaço. Por isso, é com mágoa que se vê actualmente forçado, pela teoria dos quanta, a renunciar à descrição do campo electromagnético em termos de funções de espaço e de tempo. É preciso entretanto passar da geometrização intuitiva para a aritmetização discursiva e voltar a uma definição probabilística dos campos.

Num ponto de vista inteiramente diverso, Einstein parece ter introduzido a ideia de relatividade exactamente no intervalo do carácter eléctrico e do carácter magnético do antigo campo concebido substantivamente como electromagnético. Com efeito, ao comentar a sua nova teoria do campo unitário, ele escreve: «O mesmo estado do espaço que aparece como um campo puramente magnético para um certo sistema de coordenadas é, ao mesmo tempo, para um outro sistema em movimento em relação ao primeiro, um campo eléctrico, e vice-versa(i).» Isso equivale a designar como simples aparências os caracteres experimentais - magnéticos e eléctricos - que podem ser por seu turno apagados por modificações na referência geométrica.

IV

Assim, uma das consequências filosóficas mais importantes do princípio de Heisenberg é, sem dúvida, a limitação das atri-

(1) Citado por Metz, «La théorie du champ unitaire de M. Einstein», in Rev. phil, Novembro de 1929, p. 393.

buições realísticas. Pretender ultrapassar os limites das relações de incerteza, é empregar as palavras posição e velocidade fora do domínio em que foram definidas, em que são definíveis. Debalde se objectará que noções tão fundamentais têm um sentido universal; haveremos sempre de convir que as qualidades geométricas não têm nenhum direito a serem chamadas qualidades primeiras. Não há senão qualidades segundas, dado que toda a qualidade é solidária de uma relação.

Para explicar a injusta confiança que nós temos no absoluto da localização, basta aliás lembrar-se que essa localização está na base da linguagem e que toda a sintaxe é de essência topológica. Mas é precisamente contra essas seduções do pensamento falado que deve reagir o pensamento científico o Heisenberg faz esta profunda observação (1), «Deventos lembrar-nos que a linguagem humana permite formar proposições das quais não se pode tirar nenhuma consequência, que são, na verdade, completamente vazias de substância, embora produzam na nossa imaginação uma espécie de imagem. Bem entendido, uma tal proposição não pode ser nem confirmada, nem infirmada. Deve ser-se particularmente circunspecto no emprego da expressão na realidade, porque ela leva muito facilmente a afirmações do género da que acabamos de falar.» Pode, de resto, notar-se essa perturbação da designação objectiva se se reflectir no facto de que nós não comunicamos com um átomo mas com um grupo de átomos. É pois manifesto que há que falar de uma realidade colectiva.

As condições filosóficas da individuação estatística foram muito claramente analisadas por Chester Townsend Ruddick (2). Ele opõe primeiro a individuação estatística à individuação mecânica habitual pela qual cada objecto individual - digamos, cada sólido - era conhecido pela sua localização no espaço e no tempo e não podia ser objecto de uma lei mecânica a não ser enquanto era concebido como uma entidade separada e distinta. «Os objectos de uma lei estatística, pelo contrário, podem ser dados por um método de individuação inteiramente diferente.

O seu único traço distintivo pode ser a sua pertença a um certo grupo; podem ser átomos de hidrogénio ou homens, mas não este átomo de hidrogénio ou este homem. Se se distinguem dos objectos exteriores ao seu grupo, não se distinguem dos objectos interiores. A lei é estabelecida com base na suposição de que

(1) Heisenberg, loc. cit., p. 11, nota. (2) CL, «On the contingency of natural law», apud *ne Mōnist*, Julho de 1932, p. 361.

um membro do grupo é tão próprio como qualquer outro para satisfazer certas condições. Todos os caracteres individualizantes são apagados pela introdução do indivíduo no grupo. A sua definição como indivíduo é uma definição como membro de um grupo. Poder-se-ia objectar que a mesma coisa poderia ser dita no caso das leis mecânicas. A lei universal de Newton, segundo a qual todas as partículas se atraem de uma certa maneira, refere-se aos membros de um grupo, a pontos cuja característica é por definição terem uma massa. Mas a aplicação desta lei não depende apenas do reconhecimento de certos pontos como membros do grupo, mas também da consideração das diferenças entre tais pontos. Um ponto particular só se comporta do modo como o faz em conformidade com a lei newtoniana porque é particular. Pelo contrário, se ele obedecesse a uma lei estatística, a conformidade do ponto particular com a lei dependeria não do facto de ele ser diferente dos outros pontos, mas sim de ser idêntico aos outros pontos.» Por outras palavras, é preciso substituir o artigo definido pelo artigo indefinido e limitar-se a uma compreensão consumada no objecto elementar, em relação precisamente à sua extensão bem definida. Doravante atinge-se o real pela sua pertença a uma classe. É ao nível da classe que será necessário procurar as propriedades do real.

Numerosos são os físicos que sublinharam esta perda súbita da individualidade no objecto elementar da nova física. É essa em particular a opinião de Langevin, de Planck. Marcel Boll sublinha a importância filosófica disso mesmo nos seguintes termos (1): «Do mesmo modo que o conceito antropomórfico de força foi eliminado pela relatividade einsteiniana, assim também há que renunciar à noção de objecto, de coisa, pelo menos num estudo do mundo atómico. A individualidade é um apanágio da complexidade, e um corpúsculo isolado é demasiado simples para ser dotado de individualidade. Esta posição da ciência actual em relação à noção de coisa parece quadrar não apenas com a mecânica ondulatória, mas também com as novas estatísticas e ainda com a teoria do campo unitário (Einstein), que se esforça por sintetizar a gravitação e o electromagnetismo.» No que se refere a este último ponto, escreve R. Ruyer (2): «Convergência curiosa, na nova teoria do campo unitário de Einstein, teoria que no entanto não tem nenhuma relação com a teoria dos quanta; a individualidade física dos diferentes pon-

(1) Boll, *L'idée générale de la mécanique ondulatoire et de ses premières explications*, 1923, p. 32. (2) Ruyer, *Reme philosophique*, Julho de 1932, p. 92, nota.

tos, que constituem o fluido material ou eléctrico suposto em estado contínuo, é negada» e R. Ruyer remete para um artigo penetrante de Cartan que conclui ele próprio(1): «O ponto material era uma abstracção matemática a que estávamos habituados e a que tínhamos acabado por atribuir uma realidade física. É ainda uma ilusão que temos de abandonar se a teoria unitária do campo acabar por estabelecer-se.»

Meyerson discutiu longamente esta tese(2). O sábio epistemólogo não lhe dá a sua adesão porque não pode esquecer, as referências constantes do físico - pensando como físico e não como matemático - ao realismo usual. Mas será preciso continuar a distinguir radicalmente o espírito científico informado pelas matemáticas e o espírito científico informado pela experiência física? Se aquilo que dissemos sobre a súbita importância da Física Matemática é exacto, não se poderá falar de um novo espírito científico informado pela Física Matemática? Nesse caso, teremos de encontrar um meio de conciliar o racionalismo e o realismo. Ora, não teremos aqui mesmo um tal meio uma vez que os elementos do real desprovidos de individualidade são indiscerníveis e entram em composições de algum @nodo racionais dado que são encontradas pela razão? O que lios parece dar à posição de Langevin toda a sua força filosófica, é que se trata de uma realidade postulada, É então uma necessidade de método o recusar a individualidade a essa realidade Postulada. Já não se tem nem o direito nem o meio de inscrever qualidades individuais em elementos que serão definidos por ilitegração num conjunto. O realismo elementar é portanto uni erro (3). No domínio microfísico, a sedução realista deve pois ser combatida com vigilância. O pensamento científico encontra-se aqui colocado numa posição mais ou menos análoga àquela era que se encontrava quando surgiu o cálculo infinitesimal. Estamos perante o infinitamente pequeno físico no mesmo embaraço que o pensamento geométrico do século XVII perante o infinitamente pequeno matemático. Devemos ouvir Eddington que aconselha ao físico moderno «um cuidado escrupuloso em Preservar as noções (fundamentais) de toda a contaminação por c0l acepções tiradas do outro universo». Meyerson vê nesta pretczksão uma ilusão: «É preciso, diz ele (4), que, por um lado, o

(1) Cartan, loc. ett., p, 28. (2) Meyerson, Réel et déterminisme dans la physique quantique, 1933, pass-im. (3) Cf. Dupréc], De ta nécessité, p. 25. (4) Meyerson, loc. cit, p. 19.

conceito da teoria científica evoque o do sentir comum, sem o que o físico não poderia manejá-lo.» É de facto verdade que ele permanece, pela linguagem, um carácter mais ou menos real, mas será mesmo certo que é por esse fundo real, obscuro, que o físico contemporâneo toma firme o conceito e fixa o objecto da sua pesquisa? Não tomará antes o conceito realista como um pretexto para dialéctica, como uma imagem de trabalho que mais cedo ou mais tarde se deverá apagar? Por exemplo, quando o físico fala do spin (rodopio) do electrão, visa de facto uma rotação real? Se fizéssemos um inquérito unicamente sobre esta questão, veríamos as opiniões dividirem-se e aperceber-nos-íamos de que a divisão se faz com base na distinção bem conhecida entre espíritos intuitivos e espíritos abstractos. É sintomático aliás que os autores franceses tenham mantido a palavra spin em inglês como se quisessem deixar aos intuitivos a responsabilidade da sua representação. É assim que Meyerson nos parece só tocar aqui o problema da imaginação e não é sem razão que ele apoia a sua opinião sobre um argumento de Tyndail, um dos ingleses mais intuicionistas.

Mas o problema epistemológico presente ultrapassa na realidade o quadro intuitivo por duas razões complementares.

1.º Primeiro, é de facto certo que a rotação é o simples pretexto do spin. A melhor prova disso é que ele é quantificado com uma simplicidade muito grande. Se se tratasse de uma rotação real, concebida com base no tipo ultra-rico das rotações do mundo habitual, seria necessário encarar quanta mais numerosos e mais elevados. Seguidamente, o spin encontra a sua legitimação em composições. Sobre um electrão isolado, ele não teria sentido.

O spin é portanto pensado, e de modo nenhum imaginado;

2.º De resto, ao próprio nível da imaginação, a rotação do electrão, tal como o próprio electrão, não tem sentido. É preciso não esquecer que nós imaginamos com a nossa retina e de modo nenhum com a ajuda de uma faculdade misteriosa e onnipotente. Este foi um ponto que Jean Perrin ilustrou engenhosamente(1). Não somos capazes de descer mais fundo pela imaginação que pela sensação. Debalde se ligará um número à imagem de um objecto para marcar a pequenez desse objecto: a imaginação não acompanha a rampa matemática. Já só podemos pensar matematicamente; pelo próprio facto da falha da imaginação sensível, passamos portanto para o plano do pensamento puro onde os objectos só têm realidade nas suas relações.

(1) Ver *Vororientation actuelle des sciences*, 1930, p. 25,

Eis pois um limite humano do real imaginado, por outras palavras, uma limitação à determinação figurada do real.

Não é pois apoiando-nos no núcleo realista do conceito de electrão que nós pensamos o microfenómeno; não «manejamos» o microfenómeno por meio desse núcleo realista mas antes pela atmosfera idealista que o rodeia. A opinião realista não tem suficientemente em conta a dualidade da ideia de substância que assinalámos, segundo Renouvier, na nossa introdução. No objecto da microfísica, talvez mais que alhures, essa dualidade é aparente. Definamo-la rapidamente. Nos seus preparativos experimentais, o físico parte de facto do real, do sentir comum, como o aponta Meyerson (1). Em particular, o físico designa os seus instrumentos como designa a sua mesa; mas quando intervém o pensamento experimental efectivo, o físico faz volta-face.

O produto instrumental (electrão, campo, corrente, etc.) é então inscrito como sujeito lógico e não já substancial do pensamento teórico. Se permanecem traços substanciais, são traços a apagar; assinalam um realismo ingénuo a reabsorver. Meyerson objectar-nos-á, sem dúvida, que esse realismo persistente, «essa hidra de cem cabeças, que têm uma aptidão quase indestrutível para despontar de novo quando se julgava tê-las cortado», representa de facto uma das características essenciais do pensamento humano. Mas então, que estranho frenesim nos leva a destruir incessantemente a hidra que renasce! Por que presciência dos nossos destinos espirituais nos esforçamos nós por sublimar as nossas noções realistas? Porque é que temos necessidade de mudar o real de lugar? A função realista deveria ter a estabilidade mais que qualquer outra; a explicação substancialista deveria manter a permanência. De facto, a função realista é cada vez mais móvel. Nunca a ciência teve um tal desdém pelos seres que criou. Abandona-os à menor dificuldade.

A partir daí, parece-nos que no intervalo que separa o desaparecimento de um objecto científico e a constituição de uma nova realidade, há lugar para um pensamento não realista, para um pensamento que do seu movimento faz para si um apoio. Instante efémero, dir-se-á, que quase não pode entrar em linha de conta quando comparado com os períodos de ciência adquirida, assente, explicada, ensinada. É no entanto aí, nesse breve instante da descoberta, que se deve captar a inflexão decisiva do pensamento científico. É reconstituindo esses instantes no ensino que se constitui o espírito científico no seu dinamismo e na sua dialéctica. É então que se produzem as bruscas contra-

(1) Meyerson, 10c. Cit., P. 20. 21-

dições experimentais, as dúvidas sobre a evidência dos axiomas, essas sínteses a priori! que, como a síntese genial de Louis de Broglie, vêm reforçar o real, essas súbitas inversões de pensamento, que têm no princípio einsteiniano de equivalência um dos seus mais claros exemplos. Toda a argumentação de Meyerson sobre o carácter durante muito tempo substancial da força vem quebrar-se contra um semelhante princípio. Basta lembrar-se de que uma mudança bem escolhida do sistema de referência elimina a gravitação, para ver o carácter fugaz do realismo da força atractiva.

Assim, seja qual for a duração dos repousos no realismo, o que deve impressionar é que todas as revoluções frutuosas do pensamento científico são crises que obrigam a uma profunda reclassificação do realismo. Além disso, nunca é o pensamento realista que provoca por si mesmo as suas próprias crises. A impulsão revolucionária vem de outro lado: tem origem no reino do abstracto. É no domínio matemático que estão as fontes do pensamento experimental contemporâneo.

A EPISTEMOLOGIA NÃO-CARTESIANA

Um dos químicos contemporâneos que pôs em acção os métodos científicos mais minuciosos e mais sistemáticos, Urbain, não hesitou em negar a perenidade dos métodos mesmo os melhores. Para ele, não há método de investigação que não acabe por perder a sua fecundidade primitiva. Chega sempre uma altura em que já não se tem interesse em procurar o novo na esteira do antigo, em que o espírito científico só pode progredir criando métodos novos. Os próprios conceitos científicos podem perder a sua universalidade. Como diz Jean Perrin: «Todo o conceito acaba por perder a sua utilidade, a sua própria significação, quando nos afastamos cada vez mais das condições experimentais em que ele foi formulado». Os conceitos e os métodos, tudo é função do domínio de experiência; todo o pensamento científico deve mudar perante uma experiência nova; um discurso sobre o método científico será sempre um discurso de circunstância, não descreverá uma constituição definitiva do espírito científico.

Esta mobilidade dos justos métodos deve ser inscrita na própria base de toda a psicologia do espírito científico porque o espírito científico é estritamente contemporâneo do método explicitado. Quando se observa não há que confiar nada aos

hábitos. O método faz corpo com a sua aplicação. Mesmo no plano do pensamento puro, a reflexão sobre o método deve permanecer activa. Como muito bem diz Dupréel (1) «uma verdade demonstrada mantém-se constantemente apoiada não na sua própria evidência, mas na sua demonstração».

Chegamos então a perguntar-nos se a psicologia do espírito científico não será pura e simplesmente uma metodologia consciente. A verdadeira psicologia do espírito científico estaria assim muito perto de ser uma psicologia normativa, uma pedagogia em ruptura com o conhecimento habitual. De uma maneira mais positiva, captar-se-á a essência da psicologia do espírito científico na reflexão pela qual as leis descobertas na experiência são pensadas sob forma de regras aptas a descobrir factos novos. É assim que as leis se coordenam e que a dedução intervém nas ciências indutivas. A medida que os conhecimentos se acumulam, elas ocupam menos espaço, porque se trata verdadeiramente de conhecimento científico e não de erudição empírica, é sempre como método confirmado que a experiência é pensada. Este carácter normativo é naturalmente mais visível na psicologia do matemático que só pensa realmente o correcto, estabelecendo uma diferença fundamental entre conhecimento entrevisto e conhecimento provado. Mas sente-se a sua intervenção na concepção essencialmente orgânica dos fenómenos que incrusta o pensamento lógico no Mundo. Seja como for, nos ensaios experimentais, começa-se pelo que se julga lógico. A partir daí, um fracasso experimental significa mais tarde ou mais cedo uma mudança de lógica, uma mudança profunda do conhecimento. Tudo o que estava armazenado na memória deve reorganizar-se ao mesmo tempo que a armação matemática da ciência. Verifica-se uma endosse da psicologia matemática e da psicologia experimental. Pouco a pouco, a experiência recebe as dialécticas do pensamento matemático; a evolução metodológica funciona exactamente à volta das articulações dos diversos temas matemáticos.

Haverá no entanto, de um ponto de vista absolutamente geral, métodos de pensamento fundamentais que escapariam ao desgaste de que fala Urbain? Não parece que isso se verifique se quisermos, para ajuizar sobre isso, colocar-nos sistematicamente no domínio da investigação objectiva, nessa zona em que assimilação do irracional pela razão não se faz sem uma reorganização recíproca do domínio racional. Assim, disse-se muitas

(1) Dupréel, «De la méthode», Archims de la Société belge de philosophie, 1928, p. 13.

vezes que o pensamento do laboratório não seguia de modo nenhum as prescrições de Bacon ou de Stuart Míf. Podemos, cremos nós, ir mais longe e pôr em dúvida a eficácia dos conselhos cartesianos.

li

Devemos efectivamente dar-nos conta de que a base do pensamento em Descartes é demasiado estreita para explicar os fenômenos físicos. O método cartesiano é redutivo, não é de modo nenhum indutivo. Uma tal redução falseia a análise e entrava o desenvolvimento extensivo do pensamento objectivo. Ora, não há pensamento objectivo, não há objectivação, sem essa extensão. Como mostraremos em seguida, o método cartesiano que consegue tão bem explicar o Mundo, não consegue complicar a experiência, o que é a verdadeira função da investigação objectiva.

Em primeiro lugar, com que direito se supõe a separação inicial das naturezas simples? Para dar apenas um exemplo tanto mais decisivo quanto ele atinge entidades mais gerais, recordemos que a separação da figura e do movimento é objectivamente abusiva no reino da microfísica. É o que Louis de Broglie sublinha (1): «No início do desenvolvimento da ciência moderna, Descartes dizia que devíamos esforçar-nos por explicar os fenômenos naturais por meio de figuras e movimentos. As relações de incerteza exprimem precisamente que uma tal descrição com todo o rigor é impossível dado que nunca se pode conhecer ao mesmo tempo a figura e o movimento.» Assim, as relações de incerteza deve ser interpretadas como obstáculos à análise absoluta. Por outras palavras, as noções de base devera ser captadas nas suas relações exactamente da mesma maneira que os objectos matemáticos devem receber a sua definição real na sua ligação, por um postulado. As paralelas existem depois, não antes, do postulado de Euclides. A forma extensa do objecto microfísico existe depois, não antes, do método de detecção geométrica. É sempre a mesma definição metodológica que sobressai: «Diz-me como te chamam, dir-te-ei quem és.» De uma maneira geral, o simples é sempre o simplificado ; só poderá ser pensado correctamente na medida em que se apresentar como o produto de um

(1) Louis de broglie, *Théorie de ta quantification dans ta nouvelle mécanique*, p. 31,

processo de simplificação. Se não se quiser fazer esta difícil transposição epistemológica, menosprezar-se-á a direcção exacta da matematização da experiência.

Por várias vezes, ao longo deste pequeno livro, tanto na origem da óptica como na base da mecânica, vimos despontar a ideia da complexidade essencial dos fenómenos elementares da microfísica contemporânea. Enquanto que a ciência de inspiração cartesiana fazia, muito logicamente, o complexo com o simples, o pensamento científico contemporâneo procura ler o complexo real sob a aparência simples fornecida por fenómenos compensados; esforça-se por encontrar o pluralismo sob a identidade, por imaginar ocasiões de quebrar a identidade para além da experiência imediata resumida demasiado cedo num aspecto de conjunto. Tais ocasiões não se apresentam de modo nenhum por si mesmas, não se encontram à superfície do ser, nos modos, no pitoresco de uma natureza desordenada e sujeita à mudança. É preciso ir lê-las no âmago da substância, na contextura dos atributos. É uma actividade estritamente numenal que determina a pesquisa do microfenómeno. Que esforço de pensamento puro, que fé no realismo algébrico foi necessário para associar o movimento e a extensão, o espaço e o tempo, a matéria e a irradiação! Ao passo que Descartes podia negar ao mesmo tempo a diversidade primitiva da matéria e a diversidade primitiva dos movimentos, eis que associando simplesmente a matéria fina e o movimento rápido num choque, obtêm-se imediatamente ocasiões de diversidade fundamental: qualidades, cores, calor, radiações diversas criam-se com base unicamente nos graus do choque quantificado. A matéria já não é um simples obstáculo que reenvia o movimento. Ela transforma-o e transforma-se. Quanto mais pequeno é um grão de matéria, mais realidade substancial ele tem; ao diminuir de volume, a matéria aprofunda-se.

Nesse caso, para bem ajuizar dessa realidade subtil, o pensamento teórico tem necessidade, mais ainda que o pensamento experimental, de juízos sintéticos a priori. Essa a razão por que o fenómeno da microfísica deve ser concebido como cada vez mais orgânico, numa cooperação profunda das noções fundamentais. Como vimos, a tarefa em que está empenhada a física contemporânea é a síntese da matéria e da irradiação. Essa síntese física é subentendida pela síntese metafísica da coisa e do movimento. Corresponde ao juízo sintético mais difícil de formular porque tal juízo se opõe violentamente aos hábitos analíticos da experiência usual que divide sem discussão a fenomenologia em dois domínios: o fenómeno estático (a coisa), e o fenómeno dinâmico (o movimento). Há que restituir ao fenómeno todas as suas solidariedades e em primeiro lugar romper

com o nosso conceito de repouso: em microfísica, é absurdo supor a matéria em repouso pois que ela só existe para nós como energia e só nos envia mensagens através da irradiação. Que será então uma coisa que jamais se examinaria na imobilidade? Dever-se-á portanto captar todos os elementos do cálculo na geminação do lugar e do movimento, pela álgebra das duas variáveis conjugadas relativas uma ao lugar e outra à velocidade. Sem dúvida, a união dessas duas variáveis é ainda guiada pela intuição habitual; poder-se-ia portanto crer que se trata de uma composição de duas noções simples. Ter-se-á menos confiança nessa simplicidade se se acompanhar o progresso da Física Matemática neste ponto particular. Não se tardará a reconhecer que as variáveis conjugadas se apresentam de uma maneira essencialmente indirecta e que o momento cinético deixa em breve de corresponder à intuição primitiva. Obtêm-se, com efeito, os parâmetros que determinam os fenómenos de uma expressão matemática geral. Substitui-se portanto a descrição usual e concreta por uma descrição matemática e abstracta. Esta descrição matemática não é clara pelos seus elementos, só é clara no seu acabamento por uma espécie de consciência do seu valor sintético.

Assim, ao falar de uma epistemologia não-cartesiana, não é na condenação das teses da física cartesiana, ou mesmo na condenação do mecanismo cujo espírito se mantinha cartesiano, que pretendemos insistir, mas sim numa condenação da doutrina das naturezas simples e absolutas. Com o novo espírito científico, é todo o problema da intuição que se acha revolido. Com efeito, esta intuição já não poderá doravante ser primitiva, é precedida por um estudo discursivo que realiza uma espécie de dualidade fundamental. Todas as noções de base podem de algum modo ser desdobradas; podem ser marginadas por noções complementares. De futuro toda a intuição procederá de uma opção; haverá portanto uma espécie de ambiguidade essencial na base da descrição científica e o carácter imediato da evidência cartesiana será perturbado. Não apenas Descartes crê na existência de elementos absolutos no mundo objectivo, mas ele pensa ainda que esses elementos absolutos são conhecidos na sua totalidade e directamente. É ao seu nível que a evidência é mais clara. A evidência é aí total precisamente porque os ele-

mentos simples são indivisíveis. Vemo-los inteiros porque os vemos separados. Do mesmo modo que a ideia clara e distinta está totalmente liberta da dúvida, assim também a natureza do objecto simples está totalmente separada das relações com outros objectos. Nada de mais anticartesiano que a lenta modificação espiritual que as sucessivas aproximações da experiência impõem, sobretudo quando as aproximações mais ousadas revelam riquezas orgânicas descuradas pela informação pri-

meira. É o que acontece, repitamo-lo, no caso da concepção einsteiniana cuja riqueza e valor complexo fazem subitamente aparecer a pobreza da concepção newtoniana. É também o que se passa com a mecânica ondulatória de Louis de Broglie que completa, em toda a força do termo, a mecânica clássica e a própria mecânica relativista.

Mas suponhamos, com Descartes, os elementos do real verdadeiramente dados na sua integridade; poder-se-á ao menos dizer que a construção cartesiana que os une segue uma forma realmente sintética? Parece-nos antes que a inspiração cartesiana se mantém analítica mesmo nesta construção porque, para Descartes, a construção só fica clara se for acompanhada de uma espécie de consciência da destruição. Com efeito, é-nos aconselhado que releiamos sempre o simples sob o múltiplo, que enumeremos sempre os elementos da composição. Nunca uma ideia composta será captada no seu valor de síntese. Jamais se dará atenção ao realismo da composição, à força da emergência. Longe de aceitar, por exemplo, o complexo de energia, ir-se-á, contra a própria intuição sensível, até às derradeiras reduções da intuição intelectual. Assim, nem sequer se aceitará como primitivo o carácter curvilíneo da trajectória. O único movimento verdadeiro será somente o movimento claro, o movimento simples, rectilíneo, uniforme. Ao longo do plano inclinado, não se suporá uma variação contínua da velocidade porque as velocidades devem apresentar-se sob forma de naturezas separadas, como os elementos simples e distintos de uma queda bem definida.

Ponha-se uma vez mais em simetria esta epistemologia cartesiana com a complexidade da ciência contemporânea; recordem-se as múltiplas reacções do novo espírito científico contra o pensamento assintático! A ciência contemporânea funda-se numa síntese primeira; realiza na sua base o complexo geometria-mecânica-electricidade; expõe no espaço-tempo; Inmultiplica os seus corpos de postulados; coloca a clareza na combinação epistemológica, não na meditação separada dos objectos combinados. Por outras palavras, substitui a clareza em si por uma espécie de clareza operatória. Longe de ser o ser a ilustrar a relação, é a relação que ilumina o ser.

O não-cartesianismo da epistemologia contemporânea não poderá, bem entendido, fazer-nos menosprezar a importância do pensamento cartesiano, do mesmo modo que o não-euclidismo não pode fazer-nos menosprezar a organização do pensamento euclidiano. Mas estes exemplos diferentes de organização devem sugerir uma organização muito geral do pensamento ávido de totalidade. O carácter de «completude» deve passar de uma questão de facto a uma questão de direito. E é aqui

que a consciência da totalidade é obtida por processos inteiramente diversos dos meios ninemotécnicos da enumeração completa. Para a ciência contemporânea, não é a memória que se emprega na e-numeração das ideias, é a razão. Não se trata de arrolar riquezas, mas de actualizar um método de enriquecimento. É preciso tomar incessantemente consciência do carácter completo do conhecimento, espreitar as ocasiões de extensão, prosseguir todas as dialécticas. A propósito de um fenómeno particular, pretende-se ter a certeza de ter enumerado todas as variáveis. Quando se quer assim estabelecer todos os graus de liberdade de um sistema, é evidentemente à razão que nos dirigimos, e não à experiência adquirida, para saber se nada foi esquecido. Apreendem-se faltas de perspicácia na intuição primeira. Temem-se esquecimentos da razão; é evidente que um físico ou um matemático não comete erros de memória.

Quando se percorreu assim esta perspectiva teórica, pode concluir-se que o método da prova experimental vê o simples apenas o resultado de uma simplificação, uma escolha, um exemplo, matizes que pressupõem uma extensão do pensamento para além do facto único, da identidade única, do axioma único. A clareza de uma intuição é obtida de uma maneira disursiva, por um esclarecimento progressivo, fazendo funcionar as noções, variando os exemplos. Trata-se ainda de um ponto que Dupréel pôs bem em evidência (1) - «Se um acto do meu espírito propõe uma verdade simples, um segundo acto é indispensável para que eu me dê conta disso. Basta generalizar esta observação para denunciar o erro daqueles que crêem que verdades necessárias e incondicionais, devidamente tidas como tais, podem ser propostas por um acto de pensamento que se basta a si próprio, e ao mesmo tempo servir para qualquer uso. Uma vez posto um axioma é preciso sempre um segundo acto para afirmar uma sua qualquer aplicação, isto é, para reconhecer as circunstâncias em que esse axioma pode ser invocado. Como é que Descartes e todos os defensores da necessidade em si não se apercebem de que o momento decisivo não é aquele em que se fixa um gancho na parede, que se faz tão sólida quanto se quiser, mas aquele em que se prende lá o primeiro elo da cadeia das deduções? Por irrefutável que seja o vosso cogito, espero-vos no momento de tirar daí qualquer conclusão.» Não se pode mostrar com maior nitidez o carácter discursivo da clareza, a sinonímia da evidência e da aplicação variada. Quando se quiser medir o valor epistemológico de uma ideia fundamental, é sempre para o lado da

(1) Dupréel, loc. cit., p. 14.

indução e da síntese que teremos de voltar-nos. Ver-se-á então a importância do movimento dialéctico que faz encontrar variações sobre o idêntico e que clarifica verdadeiramente o pensamento primeiro, completando-o.

111

Se por um momento nos concederem que as regras cartesianas para a direcção do espírito já não correspondem às múltiplas exigências da pesquisa científica tanto teórica como experimental, não deixarão no entanto de nos objectar que regras e conselhos conservam sem dúvida um valor pedagógico. Mas ainda aqui temos de insistir na ruptura entre o verdadeiro espírito científico moderno e o simples espírito de ordem e de classificação. É preciso igualmente distinguir bem o espírito científico regular que anima o laboratório de pesquisas e o espírito científico secular que encontra os seus discípulos no mundo dos filósofos. Assim, se se trata de ensinar a ordem nas notas, a clareza na exposição, a distinção nos conceitos, a segurança nos inventários, nenhuma lição é mais frutuosa que a lição cartesiana. Ela basta amplamente para ensinar esse espírito de método preciso e objectivo que dá a toda a taxologia (histórica e literária) o direito ao tom dogmático, ao mesmo tempo que as ciências matemáticas e físicas se exprimem com uma prudência acrescida. De resto, quase não se concebe que um físico cometa um erro contra as regras de Descartes. Na realidade, nenhuma das rectificações que marcam as grandes revoluções científicas da Física contemporânea resulta da correcção de um erro relativo às regras cartesianas.

Aliás, sente-se bem que essas regras já não têm nenhum valor dramático na cultura moderna. Com efeito, não há um leitor em cem para o qual o Discurso seja um acontecimento intelectual pessoal. Nesse caso, despoje-se o Discurso do seu encanto histórico, esqueça-se o seu tom tão sedutor de abstracção inocente e primeira, e ele aparecerá ao nível do bom senso, como uma regra de vida intelectual dogmática e pacífica. Para um físico, trata-se de conselhos óbvios; não correspondem às múltiplas precauções que uma medida precisa reclama; não respondem à ansiedade da ciência contemporânea. Pontos de vista tão simples afastariam antes todo o recurso aos paradoxos, que são tão -úteis quando se suscitam, mesmo no ensino elementar. Assim, segundo a experiência que o ensino elementar da Física e da Filosofia nos pôde fornecer, não se consegue interessar

104

espíritos jovens no método cartesiano. A esta crise real e útil da evolução intelectual humana já não corresponde uma crise real da cultura intelectual.

A própria dúvida cartesiana que deveria ser o ponto de partida de toda a pedagogia da metafísica não é fácil de ensinar. Como diz Walter Frost (1): é uma atitude na verdade demasiado solene - eine sehr feierliche Gebärde. É muito difícil manter nela um espírito jovem o tempo suficiente para que ele se com- penetre do seu valor. A suspensão do juízo antes da prova científica objectiva - que caracteriza o espírito científico - a consciência clara do sentido axiomático dos princípios matemáticos -

que caracteriza o espírito matemático - correspondem a uma dúvida menos geral mas cuja função é, por isso mesmo, mais nítida e mais durável do que a dúvida cartesiana, Do ponto de vista psicológico esta dúvida prévia, inscrita no próprio limiar de toda a investigação científica, é portanto de um uso renovado. Constitui um traço essencial e não já provisório da estrutura do espírito científico.

IV

Mas temos de deixar estas generalidades sobre os métodos e procurar mostrar em alguns problemas científicos precisos as novas relações epistemológicas das ideias simples e das ideias compostas.

Na realidade, não há fenómenos simples; o fenómeno é um tecido de relações. Não há natureza simples, substância simples; a substância é uma contextura de atributos. Não há ideia simples, porque uma ideia simples, como muito bem viu Dupré, deve estar inserida, para ser compreendida, num sistema complexo de pensamentos e de experiências. A aplicação é complicação. As ideias simples são hipóteses de trabalho, conceitos de trabalho, que deverão ser revistos para receberem o seu justo papel epistemológico. As ideias simples não são de modo nenhum a base definitiva do conhecimento; aparecerão, por conseguinte, com um aspecto inteiramente diverso quando forem colocadas numa perspectiva de simplificação a partir das ideias completas. Nada de mais instrutivo para captar a dialéctica do simples e do completo que considerar as pesquisas experi-

(1) Walter Frost, Bacon und die Natur philosophie, Munique, 1920, p. 65.

mentais e teóricas sobre a estrutura dos espectros e a estrutura dos átomos. Encontra-se aí uma mina quase inesgotável de paradoxos epistemológicos. Por exemplo, pode dizer-se que um átomo que possui vários electrões é, sob certos aspectos, mais simples do que um átomo que possui um só, sendo a totalidade mais orgânica numa organização mais complexa. Pode-se também ver aparecer esse curioso conceito de degenerescência físico-matemática que repõe o fenómeno simples e degenerado sob a sua verdadeira luz. Tentemos pois descrever esta viragem da perspectiva epistemológica,

É sabido que o primeiro espectro que se conseguiu destrinçar foi o espectro do Hidrogénio. Foi primeiramente neste espectro que apareceu com maior nitidez o agrupamento das estrias em série; foi também neste espectro que foi encontrada a primeira fórmula espectral, a de Balmer. No que se refere ao próprio átomo de Hidrogénio, chegou-se igualmente a conclusões que apresentavam este átomo como sendo de uma grande simplicidade: ele era constituído por um electrão em revolução em torno de um protão. Assim, toma-se como ponte de partida uma dupla afirmação de simplicidade:

1.º A fórmula matemática do espectro de hidrogénio é simples;

2.º A figura que corresponde à intuição primeira é simples. Tenta-se em seguida compreender os átomos mais complicados partindo dos conhecimentos fornecidos pelo átomo de Hidrogénio. Estes conhecimentos constituem portanto uma espécie de fenomenologia de trabalho. Aqui segue-se efectivamente o ideal cartesiano clássico. Vejamos, sob o duplo ponto de vista matemático e intuitivo, o progresso das fórmulas e das imagens em direcção à complexidade.

Primeiro, no que se refere às fórmulas matemáticas, dá-se conta de que, a um coeficiente numérico próximo, pode encontrar-se nos espectros dos outros elementos químicos a fórmula de Balmer relativa ao espectro do hidrogénio. Este coeficiente não é mais do que o quadrado do número atómico. Como este número atómico é a unidade no caso do hidrogénio, explica-se de imediato que ele não foi explicitado na primeira fórmula de Balmer. Esta fórmula, alargada assim a todos os corpos, conhece, deste modo, uma era de perfeita generalidade: é a lei ao mesmo tempo simples e geral dos fenómenos espectrais.

Para falar verdade, os progressos nas medidas espectroscópicas levam a rectificar pouco a pouco os diversos parâmetros da fórmula. Estes retoques perturbam a bela simplicidade da matemática primitiva. Mas, como as rectificações por meio de acrescentos mais ou menos empíricos parecem deixar às diversas funções o seu respectivo papel, pode ainda dissimular-se o aspecto

de algum modo racional da fórmula. Julga-se assim dar conta em pormenor dos factos experimentais descrevendo-os como perturbações em tomo de uma lei geral. O pensamento científico permanece muito tempo neste estádio do complexo tomado como sinónimo de perturbado; um tal pensamento desenvolve-se em dois tempos: esforço para determinar uma lei, estudo menos ansioso das perturbações à lei. É esse um traço fundamental que caracteriza toda a estrutura psicológica. Com efeito, esta dicotomia do claro e do inextrincável, do legal e do irregular toma-se, sem grande discussão, na dicotomia do racional e do irracional. Ela estabelece os limites que separam a coragem e o cansaço intelectuais. Não se trabalhou já o suficiente quando se estabeleceram as grandes linhas do fenómeno? Que importam os matizes, os pormenores, as flutuações? Não bastará, para «compreendê-los» a partir da lei, transferi-los para a margem da lei? Curiosa dialéctica! Curioso descanso!

Mas é tão grande a tentação da clareza rápida que as pessoas se obstinam, por vezes, em seguir um esquema teórico sem relação com o fenómeno. Assim, o vento arrasta durante muito tempo, sem arrancá-lo, o animal fabuloso desenhado na nuvem por uma intuição primeira, mas basta que a nossa fantasia se interrompa para que a forma entrevista se apresente como irreconhecível. À força de perturbações, vem uma altura em que é necessário retomar o desenho de um fenómeno complexo seguindo novos eixos. É precisamente o que acontecerá na classificação matemática dos termos espectroscópicos em que as matrizes trarão um tema de ordem muito mais adequado à multiplicidade dos termos. Voltaremos, dentro de instantes, ao carácter complexo da matemática atómica. Notemos, em primeiro lugar, a propósito dos «modelos» atómicos, a mesma evolução do problema da complexidade.

O que se passa com as fórmulas matemáticas acontece também com as imagens que as ilustram. Também aí se encontra de novo a mesma hierarquia primitiva das trajectórias simples e das trajectórias perturbadas. Mas como deste lado os desenganos não tardam, dado que o átomo de hélio - que é, no entanto, bem simples com os seus dois electrões e o seu núcleo - levanta dificuldades insolúveis, orientar-se-ão os estudos para os fenómenos espectroscópicos relativos a certos elementos, quer normais, quer ionizados; procurar-se-á aí o carácter hidro,-enóide. Encontram-se assim no espectro de hélio ionizado, no dos metais alcalinos, no dos metais alcalino-terrosos ionizados, fórmulas do tipo de Balmer e infere-se a mesma imagem fundamental constituída por um núcleo mais ou menos complexo em torno do qual se desloca um electrão isolado. Todos os fenómenos ópticos do átomo se dispõem sob a dependência quase exclusiva

deste electrão exterior. Triunfo da similitude das imagens fundamentais em que a simplicidade reencontrada designaria uma lei verdadeiramente geral!

Mais eis a reacção do complexo: não apenas não se tem razão em se procurar mais ou menos artificialmente o carácter hidrogenóide nos fenómenos dos outros elementos químicos, mas cedo se vai ser levado à conclusão de que o carácter hidrogenóide não é verdadeiramente um carácter simples, de que ele não é mais simples no hidrogénio que num outro corpo e mesmo, muito pelo contrário, que a sua pseudo-simplicidade é mais enganadora no caso do hidrogénio do que em qualquer outra substância. Daí se tirará a seguinte consequência paradoxal: o carácter hidrogenóide deverá ser estudado primeiramente num corpo que não seja o hidrogénio, para ser bem compreendido no caso do próprio hidrogénio, em resumo, verificar-se-á. que só se poderá delinear bem o simples, depois de um estudo aprofundado do complexo.

Efectivamente, tal como ele se apresenta na aritmética quântica, poder-se-ia dizer que o átomo de hidrogénio não pode contar pois que sob a forma que lhe é atribuída por Bohr, o átomo de hidrogénio só parece poder receber um único número quântico. Como muito bem diz Léon Bloch(1): «O espectro do hidrogénio não é mais que um espectro alcalino degenerado, isto é, um espectro em que os elementos que correspondem a valores diferentes de 1 se encontram praticamente confundidos», sendo 1, como é sabido, o número quântico azimutal que é a marca de uma dupla periodicidade necessária para dar conta das diversas séries espectrais dos alcalinos. Deve-se ir mais longe. Quando se tiver atribuído ao electrão óptico de um metal alcalino três números quânticos, será necessário prever três periodicidades no átomo. «É interessante», diz então Léon Bloch, «verificar se marcas dessa tripla periodicidade subsistem no próprio átomo de hidrogénio, considerado como um alcalino degenerado. Devemos esperar encontrar nessa pesquisa dificuldades experimentais muito grandes. Já para o lítio, o primeiro dos alcalinos propriamente ditos, a estrutura dos dobletes é tão cerrada que só pôde ser posta em evidência em certos termos. Para o hidrogénio, a estrutura dos doubletes deve ser ainda mais fina. Apesar desta dificuldade, a potência actual dos espectroscópios interferenciais é tão grande que permitiu patentear de urna maneira certa a estrutura fina das estrias da série Balmer e,

(1) Léon Bloch, «Structures des spectres et structure des atomies», a~ Conférences d'Actualités scientifiques et industrielles, 1929, p. 200 e 202,

muito particularmente, da estria vermelha Rx... A decomposição das estrias de R 1 e He 11 em múltipletes extremamente cerrados, que são construídos sobre o mesmo tipo que os múltipletes alcalinos, mostra que não há diferença essencial entre o espectro do hidrogénio e os espectros hidrogenóides.» E L. Bloch conclui nestes termos: «Vemos assim que o mais simples de todos os átomos é já um sistema complicado.»

Pode objectar-se-nos aqui que se Pedro se assemelha a Paulo, Paulo assemelha-se a Pedro e que a assimilação do hidrogénio aos metais alcalinos, do ponto de vista espectroscópico, é correlativa. Mas tal objecção equivale a menosprezar o deslocamento da imagem fundamental, deslocamento esse que arrasta consigo uma transformação completa da fenomenologia de base. Na realidade, se se acompanhar o progresso exacto da experiência, deve chegar-se a esta conclusão: não são os metais alcalinos que recebem a imagem hidrogenóide, mas antes o hidrogénio que recebe a imagem alcalinóide. Após o estádio cartesiano - termo do movimento do simples para o complexo -

dizia-se que o espectro dos alcalinos é um espectro hidrogenóide. Após o estádio não-cartesiano - termo de um movimento do completo para o simplificado, do orgânico para o degenerado -

dever-se-ia dizer que o espectro do hidrogénio é um espectro alcalinóide. Se se quiser descrever em pormenor os fenômenos espectroscópicos, é o espectro mais complicado - aqui o espectro dos metais alcalinos - que é preciso mostrar primeiro que tudo. É esse espectro que abre os olhos do experimentador sobre a estrutura fina. O desdobramento das estrias do hidrogénio não seria procurado se não tivesse já sido encontrado nas estrias dos alcalinos.

O mesmo problema se porá, como mostraremos dentro de instantes, a propósito da estrutura hiperfina do espectro do hidrogénio. É de facto certo que não é o exame do espectro do hidrogénio que pode sugerir estes estudos de segunda e de terceira aproximações. Não é a fórmula de Balmer aplicada ao hidrogénio que reclama complementos. Também não é a imagem do átomo de hidrogénio patenteada por Bohr que pode levar-nos a imaginar novas periodicidades. Por exemplo, se somos levados a atribuir um momento de rotação ao núcleo, ao electrão do átomo de hidrogénio, é porque teremos atribuído com sucesso tais momentos aos corpúsculos dos átomos mais complicados, por conseguinte, mais orgânicos.

Não apenas do ponto de vista de uma matemática construtiva, não apenas no domínio da imagem intuitiva, mas ainda do ponto de vista estritamente experimental, o átomo de hidrogénio pode parecer rebelde à experiência do facto, mesmo que se aproxime mais da pobreza objectiva. São o precisos meios pode-

rosos e uma redobrada precisão para distinguir as leis neste caso grosseiro. De resto, os traços mais aparentes nem sempre são os traços mais característicos; há que resistir a um positivismo de primeiro exame. Se se faltar a esta prudência, correr-se-á o risco de tomar uma degenerescência por uma essência

Por consequência, se é de facto verdade que historicamente o espectro do hidrogénio foi o primeiro guia da espectroscopia, este mesmo espectro está doravante longe de fornecer a melhor das bases de impulso para a indução. Na verdade, induz-se a teoria dos espectros alcalinos a partir do espectro do hidrogénio. Dever-se-iam portanto deduzir seguidamente os fenómenos do hidrogénio apoiando-se nos fenómenos alcalinos. Mas induz-se ainda, induz-se sempre e descobre-se uma nova estrutura nos fenómenos de partida, ou melhor ainda, produz-se esta nova estrutura por meios poderosos e artificiais.

Só estudámos a contradição do simples e do complexo na passagem do espectro do hidrogénio aos espectros hidrogenóides. É claro que, se o esquema hidrogénio não é senão um desenho provisório, o conhecimento mais complexo do esquema hidrogenóide deverá também revelar mais tarde ou mais cedo o seu carácter artificial e simplificado. Com efeito, os esquemas tornam-se cada vez mais inoperantes quando se vai do primeiro para o oitavo período do quadro de Mendeleiev. Para já, espectros como os do bismuto e do chumbo não evocam em nada os espectros hidrogenóides. O espectro do ferro é uma mensagem inteiramente indecifrável com a grelha hidrogenóide.

Para disfarçar esse fracasso, ir-se-á fazer intervir a ideia de uma complexidade inextrincável, de uma irracionalidade fundamental do real? É conhecer mal a mobilidade e a coragem do espírito científico contemporâneo supor tal derrota. Matematicamente e experimentalmente é no estudo dos fenómenos complexos que o pensamento científico prossegue a sua instrução. Do lado matemático, pode efectivamente esperar-se que a mecânica ondulatória fornecerá meios bastante bem apropriados para calcular a priori os termos espectrais no caso em que as fórmulas do tipo de Balmer são inoperantes, mesmo à custa das mais numerosas e mais precisas rectificações. Do lado experimental, donde virá a clareza? Da estrutura hiperfina. Do mesmo modo que a estrutura fina, captada a propósito dos espectros alcalinos, fez compreender melhor a estrutura degenerada do espectro do hidrogénio, assim também a estrutura hiperfina dos espectros complexos como o do bismuto trará novos esquemas para a espectroscopia geral. «Tudo se passa, diz Léon

Ho

Bloch (1), como se, à medida que os progressos vão sendo adquiridos na subtileza da análise espectral, todas as estrias consideradas simples tivessem tendência para se decomporem. A estrutura hiperfina, tal como a estrutura fina, seria pois não uma excepção, mas a regra.» Nunca insistiremos de mais nesta última declaração. Ela marca, a nosso ver, uma verdadeira revolução copernicana do empirismo. Com efeito, é a própria ideia de perturbação que parece dever ser eliminada mais tarde ou mais cedo. Já não deveremos falar de leis simples que seriam perturbadas, mas de leis complexas e orgânicas por vezes atingidas por certas viscosidades, por certas reservas. A antiga lei simples torna-se um simples exemplo, uma verdade mutilada, uma imagem esboçada, um bosquejo copiado de um quadro. Voltamos, seguramente, a estes exemplos simplificados, mas sempre para fins pedagógicos, por razões de explicação menor, porque o plano histórico continua a ser educativo, sugestivo, empolgante. Mas paga-se caro essa facilidade, como toda a facilidade, essa confiança no adquirido, esse descanso nos sistemas. Corre-se o risco de tomar os andaimes pelo vigamento. Ora, o conhecimento profundo é o conhecimento acabado e é no domínio da antiga perturbação, no fino desenho das aproximações ousadas, que o conhecimento encontra, com o seu remate, a sua verdadeira estrutura. É aí que se realiza a equação do númeno e do fenómeno e que o númeno revela subitamente as suas impulsões técnicas. A partir daí a dualidade estática do racional e do irracional é suplantada pelas dialécticas da racionalização activa.

O pensamento completa a experiência. As excepções são apagadas de algum modo pelo cume, pela acumulação dos acidentes, proporcionando a plena medida dos atributos e das funções.

Este primado do pensamento completo sobre a experiência pura, apresenta-se com toda a nitidez quando nos voltamos para a experiência primitiva. Por exemplo, depois de se ter reconhecido no efeito Zeeman a separação das estrias espectrais sob a acção de um campo magnético, por-se-á a seguinte questão: «Uma semelhante dissociação não poderia acaso existir em estado latente, na ausência do campo magnético (1)?» - o que equivale a decidir dos problemas de estrutura real a partir de princípios de possibilidade, na confiança de que toda a compossibilidade é a marca primeira, eminentemente racional, de uma realidade. Chega-se assim a pensar uma espécie de estrutura prévia, de construção em projectos, de real em planos, de molde racional para a técnica experimental.

(1) Léon Bloch, loc. cit., P. 207.

Na mesma ordem de ideias, seria verdadeiramente absurdo perguntar como funciona a regra de Pauli no caso do hidrogénio? Esclareçamos esta questão. A regra de Pauli é de uma aplicação absolutamente geral. Ela ensina-nos que dois electrões tomados no mesmo átomo nunca podem ter os seus quatro quanta idênticos. Como interpretar então esta regra no caso do hidrogénio que possui apenas um electrão? Pode-se sem dúvida fazê-lo no sentido da simplicidade, retendo, em suma, apenas uma razão de quantificação, rejeitando o ensinamento da regra de Pauli tomada à medida dos casos' complexos. Chega-se precisamente às fórmulas simplificadas, a uma mutilação das possibilidades experimentais. Seria então necessário evocar electrões fantasmas que viriam fornecer os pretextos para as quantificações múltiplas? Como se vê, é sempre o mesmo problema: como contar bem com um ábaco incompleto, como ler a lei dos grandes números em números pequenos, como reconhecer a regra com todas as suas excepções num único exemplo que é com toda a evidência uma excepção? De uma maneira mais geral, em que é que o simples pode ilustrar o completo? No limitar da estequiologia, eis o hidrogénio como o anfíbio no limiar dos vertebrados. Não há dúvida, é com o hidrogénio que a dupla matéria eléctrica -positiva e negativa -se liga ou se desliga. Em que sentido será preciso desenlear a meada? Porque não completar o nó esgotando a força de composição? Não se tomarão as funções mais claras no seu funcionamento variado? Conheceremos tanto melhor os laços do real quanto deles fizermos um tecido mais denso, multiplicarmos as relações, as funções, as interacções. O electrão livre é menos instrutivo que o electrão ligado, o átomo menos instrutivo que a molécula. Evitemos no entanto levar longe de mais a composição. Há que permanecer na zona em que a composição é orgânica para bem compreender a equação do complexo e do completo.

Acabamos precisamente de entrar no século da molécula após longos anos consagrados aos pensamentos atomísticos. Para nos convenceremos da importância desta nova era, bastará reportar-nos a cem anos atrás; o carácter artificial do antigo conceito de molécula ficará patente. Nessa época, as definições que pretendiam distinguir molécula e átomo seguiam a distinção tão evidentemente artificial dos fenómenos físicos e dos fenómenos químicos. A molécula era definida como o resultado da desagregação física e o átomo como o resultado da desagregação química da molécula. Tomada na sua composição, a molécula só correspondia praticamente à justaposição dos átomos; todas as funções químicas pertenciam aos elementos, aos átomos. Seguindo nisso a metafísica realista, acreditava-se no valor explicativo da atribuição categórica das propriedades às subs-

tâncias elementares. Ora, pouco a pouco, parece hesitar-se em inscrever sem discussão as propriedades na conta do simples e vai-se impondo a ideia de que a atribuição pode-ria de facto ser sempre relativa ao composto. Tomemos apenas um exemplo. A respeito da valência química, conceito científico que racionaliza mais ou menos a oculta ideia substancialista da afinidade, acaba por se duvidar que ela possa precisar-se fora das composições efectivas. Como diz B. Cabrera (1), «a valência é algo de mais complexo, cuja origem está em relação com a estabilidade das novas configurações dinâmicas dos electrões superficiais produzidas por causa das perturbações mútuas dos átomos em contacto. É evidente que os pormenores dessa configuração e o grau da sua estabilidade dependerão da estrutura dos átomos que intervêm, de modo que estritamente falando a valência não é uma propriedade de cada elemento isolado, mas do conjunto dos átomos ligados». Assim, a afinidade depende da comunhão. Entrar em composição, é «compor». Não há originalidade substancial - assim como originalidade psicológica - que resista a uma associação. É portanto vão prosseguir o conhecimento do simples em si, do ser em si, pois que é o composto e a relação que suscitam as propriedades, é a atribuição que esclarece o atributo.

A tese que nós defendemos é aliás perigosa, no sentido de que contradiz a maneira habitual de designar doginaticamente as noções de base. Mas sob certos aspectos, a própria ideia de noção de base pode parecer contraditória: as nossas noções experimentais, bebidas na experiência comum, não deverão ser incessantemente revistas para se incorporarem mais ou menos exactamente na microfísica onde se deve sempre inferir e não descobrir as bases do real? A epistemologia não-cartesiana está pois por essência, e não por acidente, em estado de crise. Voltemos um instante à definição moderna dos elementos de pensamento e demonstremos uma vez mais que as noções iniciais devem ser solidarizadas numa definição orgânica, ligadas a casos complexos.

Para os sábios do século XIX tal como para Descartes, as bases racionais do mecanismo eram inabaláveis. Noções mesmo obscuras como a força eram objecto de uma designação imediata. Em seguida, era multiplicando a intensidade da força pela deslocação do seu ponto de aplicação que se definia, de uma maneira

(1) Cabrera, «Paramagnétisme et structure des atomes combinés», apud Activation et structure des molécules, 1928, p. 246.

derivada, o trabalho e a energia. Esta construção da noção de energia correspondia bem ao ideal analítico e cartesiano que orientava a ciência. Note-se de passagem que a separação absoluta do espaço e do tempo favorecia aqui a intuição analítica, ainda que muitos problemas filosóficos permanecessem imprecisos, como o das diferenças entre a força concebida estaticamente e a força concebida dinamicamente.

Aprofundando esta dificuldade, aperceber-nos-íamos da obscuridade da primeira concepção, compreenderíamos melhor as repetidas confusões das idades pré-científicas a respeito da experiência da força, do trabalho, da energia, da potência; encontraríamos enfim uma primeira prova de que a noção de força não pode praticamente ser precisa se a separarmos de uma função essencial da força que é produzir um trabalho. Em todo o caso, se chegarmos ao pensamento contemporâneo, a correlação essencial das noções torna-se perfeitamente evidente. Cada vez mais se impõe a reciprocidade entre a noção de força e a noção de energia. Qual será afinal a noção de base? É naturalmente prematuro responder a esta questão. A intervenção das teorias quânticas poderia aliás encerrar o debate de uma maneira estranha trazendo princípios inteiramente novos para a definição matemática das noções experimentais. Com efeito, se se for ao fundo da intuição tão especial de London e Heitler no que se refere às relações possíveis de dois átomos de hidrogénio ver-se-á a tendência da micro-energética para definir a força como uma noção derivada, como uma aparência secundária, como uma espécie de convenção representando um caso particular. Na intuição destes dois sábios, começa-se por definir energeticamente os dois átomos, sem evidentemente construir a sua energia a partir das forças mais ou menos hipotéticas. Aplicando seguidamente ao conjunto formado pelos dois átomos o princípio de Pauli, damos-nos conta de que eles podem existir sob duas formas energéticas diferentes. Então, se ao aproximar os núcleos atómicos a energia do sistema aumenta, dir-se-á que os núcleos se repelem; dir-se-á pelo contrário que eles se atraem se a energia diminui. Assim, caracteres que pareciam eminentemente fenomenais como a repulsão e a atracção são aqui objectos de definição. Nada de absoluto apoia a ideia de força, ela não é de modo nenhum aqui a noção primitiva, vamos aliás mais longe. Aperceber-nos-emos de que só podem atrair-se átomos de hidrogénio diferenciados segundo o princípio de Pauli e que, em contrapartida, o choque elástico, outrora explicado por uma força repulsiva inscrita no âmago do elemento, é um atributo do conjunto dos dois átomos de hidrogénio não diferenciados segundo o princípio de Pauli. Parece que o que se atrai são sistemas de números quânticos diferentes e que o que se repele são sistemas de números quânticos idênticos.

A força induzida matematicamente já não é aqui mais que o fantasma da força colocada em tempos na base da energia por uma metafísica realista. A força mecânica torna-se tão metafórica como a força de uma antipatia ou de uma simpatia; é relativa a uma composição, não a elementos. A intuição matemática com a sua preocupação da «completude» substitui a intuição experimental com as suas simplificações arbitrarias.

Em resumo, cremos que a explicação científica tende a acolher, na sua base, elementos complexos e a só edificar sobre elementos condicionais, concedendo somente a título provisório, para funções bem especificadas, a patente da simplicidade. Esta preocupação em manter aberto o corpo de explicação é característica de uma psicologia científica receptiva. Toda a composição fenomenal pode ser uma ocasião de pensamento recorrente que volta para completar o corpo dos postulados. B. Carrera escrevia precisamente em 1928 (1): « Não estamos... em condições de saber se a Mecânica quântica, criada para interpretar a radiação dos átomos isolados, basta para esclarecer o problema muito mais complicado da dinâmica da molécula. É possível, e consideramo-lo muito provável, que um novo postulado deva juntar-se àqueles que foram o ponto de partida. Pelo menos, é necessário que o nosso espírito se mantenha aberto a essa possibilidade.» A mesma ansiedade reina portanto sobre a Física Matemática. como sobre a Geometria: teme-se sempre que um postulado possa subitamente juntar-se à ciência e dividi-la. Conservar uma espécie de dúvida recorrente aberta sobre o passado de conhecimentos certos, eis ainda uma atitude que ultrapassa, prolonga, amplia a prudência cartesiana e que merece ser dita não-cartesiana, sempre nesse mesmo sentido em que o não-cartesianismo é cartesianismo completado.

De uma maneira semelhante, como tentámos mostrar no nosso livro *Pluralisme cohérent de ta Chimie moderne*, foi por um crescimento sistemático do pluralismo que a Química encontrou as suas bases racionais e matemáticas. É completando o mundo da matéria que ele é racionalizado.

Assim, o pensamento que anima a Física Matemática, tal como o que anima as matemáticas puras, é uma consciência da totalidade. Donde a importância da noção de grupo tanto numa doutrina como noutra. Nenhum descanso para o pensamento enquanto uma razão de conjunto não pôs a chancela sintética na construção. Henri Poincaré, numa notícia consagrada a Laguerre (2), assinalou o carácter não-cartesiano desta nova

(1) Cabrera, toc. cit., p. 247. (2) Poincaré, *Savants et écrivains*, p. 86.

orientação. Na altura em que Laguerre produzia o seu primeiro trabalho, em 1853, a geometria analítica «renovava-se.--- por meio de uma revolução de algum modo inversa da revolução cartesiana. Antes de Descartes, só o acaso, ou o génio, permitia resolver uma questão geométrica; depois de Descartes, temos regras infalíveis para chegar ao resultado; para ser um geónietra basta ser paciente. Mas um método puramente mecânico, que não pede nenhum esforço ao espírito de invenção, não pode ser realmente fecundo. Uma nova reforma era pois necessária: Poncelet e Chasles foram os seus iniciadores, Graças a eles, já não é nem a um feliz acaso nem a uma longa paciência que devemos pedir a solução de um problema, mas a um conhecimento aprofundado dos factos matemáticos e das suas relações intimas». O método dos Poncelet, dos Chasles, dos Laguerre é portanto um método de invenção mais do que um método de resolução. É de tipo eminentemente sintético e caminha de facto, como diz Poincaré, em sentido inverso da reforma cartesiana. Completa portanto sob certos aspectos o pensamento matemático cartesiano.

v

Quando se compreendeu como o pensamento matemático moderno ultrapassa a ciência primitiva das medidas espaciais, como cresceu a ciência das relações, damo-nos conta de que a Física Matemática oferece eixos cada vez mais numerosos à objectivação científica. A natureza estilizada do laboratório preparada pelos esquemas matemáticos deve então mostrar-se menos opaca que a natureza que, se aprestna à observação imediata. Reciprocamente, o pensamento objectivo, desde que se eduque perante uma natureza orgânica, revela-se de uma singular profundidade pelo próprio facto de esse p@nsamento ser perfectível, rectificável e sugerir complementos. E ainda meditando no objecto que o assunto tem mais possibilidades de ser aprofundado. Em vez de seguir o metafísico que entra no seu cantinho, pode pois ser-se tentado a acompanhar um matemático que entra no laboratório. De facto, em breve se inscreverá Da porta do laboratório de física e de química a advertência platónica: «Ninguém entra aqui se não for geómetra.»

Comparemos, por exemplo, a observação do pedaço de cera por Descartes e a experiência da gota de cera na microfísica contemporânea e vejamos a diversidade das consequências sobre a metafísica da substância tanto objectiva como subjectiva.

Para Descartes, o pedaço de cera é um claro símbolo do carácter fugaz das propriedades materiais. Nenhum dos aspectos de conjunto, nenhuma das sensações imediatas se mantém permanente. Basta aproximar o pedaço de cera do fogo para que a sua consistência, a sua forma, a sua cor, a sua utilidade, o seu odor, vacilem e se transformem. Esta experiência vaga prova em Descartes o carácter vago das qualidades objectivas. É uma escola de dúvida. Tende a afastar o espírito do conhecimento experimental dos corpos que são mais difíceis de conhecer que a alma. Se o entendimento não encontrasse em si próprio a ciência da extensão, toda a substância do pedaço de cera se desvaneceria com as fantasias da imaginação. O pedaço de cera só é apoiado pela extensão inteligível uma vez que a sua própria grandeza é susceptível de aumentar ou de diminuir conforme as circunstâncias. Esta recusa da experiência como base do pensamento é em suma definitiva, apesar do retorno ao estudo da extensão. Proibiu-se, à partida, toda a experiência progressiva, todo o meio de classificar os aspectos do diverso, de dar uma medida da diversidade, de imobilizar, para distingui-las, as variáveis do fenómeno. Pretendia-se tocar desde logo no objecto a simplicidade, a unidade, a constância. Ao primeiro fracasso, duvidou-se de tudo. Não se reparou no papel coordenador da experiência artificial, não se viu que o pensamento unido à experiência podia reconstituir o carácter orgânico e por conseguinte inteiro e completo do fenómeno. Por outro lado, ao não se submeterem docilmente às lições da experiência, as pessoas condenavam-se a não ver que o carácter móvel da observação objectiva se reflectia imediatamente numa mobilidade paralela da experiência subjectiva. Se a cera muda, eu mudo; eu mudo com a minha sensação que é, no momento em que a penso, todo o meu pensamento, porque sentir é pensar no amplo sentido cartesiano do cogito. Mas Descartes tem uma secreta confiança na realidade da alma como substância. Ofuscado pela luz instantânea do cogito, ele não põe em dúvida a permanência do eu que constitui o sujeito do eu penso. Porque é que há-de ser o mesmo ser que sente a cera dura e a cera mole ao passo que não é a mesma cera que é sentida em duas experiências diferentes? Se o cogito era traduzido na passiva num cogitatur ergo est, o sujeito activo evaporar-se-ia com a inconstância e o vago das impressões?

Esta parcialidade cartesiana a favor da experiência subjectiva mostrar-se-á talvez melhor quando se viver com mais fervor a experiência científica objectiva, quando se aceitar viver à exacta medida do pensamento, na rigorosa equação do pensamento e da experiência, do nùmeno e do fenómeno, longe da atracção enganadora das substâncias objectivas e subjectivas.

Vejamos portanto a ciência contemporânea na sua tarefa de objectivação progressista. O físico não pega na cera que acaba de ser trazida do colmeal, mas numa cera tão pura quanto possível, quimicamente bem definida, isolada no termo de uma longa série de manipulações metódicas. A cera escolhida é pois de algum modo um momento preciso do método de objectivação. Nada reteve do odor das flores de que foi recolhida, mas traz em si a prova dos cuidados que a depuraram. Ela é, por assim dizer, realizada pela experiência artificial. Sem a experiência artificial, uma tal cera - sob a sua forma pura que não é a sua forma natural - não teria vindo à existência.

Depois de ter feito fundir numa pequena taça um fragmento muito pequeno desta cera, o físico fá-lo solidificar com uma lentidão metódica. Fusão e solidificação são ef@ctivamente obtidas sem brusquidão por meio de um forno eléctrico minúsculo cuja temperatura pode ser regulada com toda a precisão desejável por variação da intensidade da corrente. O físico torna-se pqr conseguinte senhor do tempo cuja acção eficaz depende da variação térmica. Obtém-se assim uma gotinha muito regular não apenas na sua forma mas também na sua contextura superficial. O livro do microcosmos está agora impresso, resta apenas lê-lo.

Para estudar a superfície da cera, faz-se incidir sobre a gota um feixe de raios X bem monocromáticos, seguindo também aqui uma técnica muito precisa e deixando evidentemente de lado todo o recurso à luz branca natural que as idades pré-científicas apresentavam como natureza simples. Graças à lentidão do arrefecimento, as moléculas superficiais da cera orientaram-se em relação à superfície geral. Esta orientação determina para os raios X difracções que produzirão espectrogramas similares aos obtidos por Debye e por Bragg no caso dos cristais. Sabe-se que estes últimos espectrogramas, previstos por von Laue, reno-

varam a cristalografia permitindo inferir a estrutura interna dos cristais. De uma maneira paralela, o estudo da gota de cera renova os nossos conhecimentos das superfícies materiais. Quantos pensamentos deverá proporcionar-nos esta prodigiosa epigrafia da matéria! Como diz Jean Trillat (1): «Os fenómenos de orientação... condicionam um número imenso de propriedades superficiais, como a capilaridade, a untuosidade, a aderência, a adsorção, a catálise.» É nesta película que as relações com o exterior determinam uma físico-química nova. E aí que

(1) Trillat, «Étude au moyen des rayons X des phénomènes d'orientation moléculaire dans les composés organiques», apud *Activation et structures de molécules*, 1928, p. 461.

o metafísico poderia compreender melhor como a relação determina a estrutura. Se se fizerem diagramas penetrando cada vez

mais nas profundidades da pequena gota, a orientação das moléculas desaparece progressivamente, os microcristais tornam-se insensíveis às acções de superfície e chega-se a uma completa desordem estatística. Na zona de orientação privilegiada, temos pelo contrário fenómenos bem definidos. Estes fenómenos são devidos às descontinuidades dos campos moleculares à superfície de separação dos dois meios, na área da dialéctica material. Nesta região intermédia, são possíveis estranhas experiências que vêm preencher o hiato dos fenómenos físicos e dos fenómenos químicos e permitir ao físico actuar sobre a natureza química das substâncias. Assim, J. Trillat conclui nestes termos (loc. cit., p. 456): «Isto está em relação com as propriedades mecânicas e também com a adsorção dos corantes, conforme a matéria é orientada por tracção ou não: estarnos talvez perante uma maneira imprevista de actuar sobre a actividade química.»

Agir mecanicamente sobre a actividade química é, sobre certos aspectos, servir um ideal cartesiano; mas a acção construtiva e artificial é tão manifesta, a direcção para o complexo tão nítida, que se deve ver aí uma nova prova da extensão científica da experiência e uma nova ocasião de dialéctica não-cartesiana.

Estar-se-á de resto muito certo de que a cristalização possa fazer-se na ausência dos campos directores? Ao imaginar que essa cristalização é produzida por forças essencialmente internas, de origem substancial, ao menosprezar as acções directoras que vêm do exterior, obedece-se a uma sedução realista. É de facto marcante ver a cristalização superficial sob a dependência primordial das descontinuidades, a ponto de se poder falar de substâncias que são cristalizadas superficialmente no sentido perpendicular à superfície ao passo que continuam amorfas no sentido paralelo à superfície. Obtêm-se assim superfícies relvadas, com implantações bem especificadas. Estas «culturas» cristalinas de um novo género forneceram já numerosos ensinamentos sobre as estruturas moleculares (1).

Se se avaliar a soma das técnicas, das hipóteses, das construções matemáticas que vêm adicionar-se nestas experiências sobre a gota de cera, não se poderá deixar de considerar inoperantes as críticas metafísicas do tipo cartesiano. O que é fugaz, não podem ser senão as circunstâncias desconexas e de modo nenhum as relações coordenadas que exprimem qualidades

(1) Ver Jean Thibaud, «Études aux rayons X du polymorphisme des acides gras», apud Activation et structure des molécules, pp. 410 e ss.

materiais. Bastará destrinçar as circunstâncias que estão naturalmente baralhadas, para organizar verdadeiramente o real. As qualidades do real científico são assim, num alto grau, funções dos nossos métodos racionais. Para constituir um facto científico definido, há que pôr em acção uma técnica coerente. A acção científica é por essência complexa. É do lado das verdades factícias e complexas e não do lado das verdades acidentais e claras que se desenvolve o empirismo activo da ciência. É evidente que não poderiam intervir na ciência verdades inatas. É preciso formar a razão da mesma maneira que é preciso formar a experiência.

Assim, a meditação objectiva prosseguida no laboratório empenha-nos numa objectivação progressiva onde se realizam ao mesmo tempo uma experiência nova e um pensamento novo. Ela difere da meditação subjectiva, ávida de uma soma de conhecimentos claros e definitivos, pelo seu próprio progresso, pela necessidade de complemento que ela supõe sempre. O sábio sai dela com um programa e conclui o seu dia de trabalho com esta palavra de fé, repetida todos os dias: «Anianhã, saberei.»

vi

Se agora se colocar o problema da novidade científica no plano mais propriamente psicológico, não pode deixar de se ver que este andamento revolucionário da ciência contemporânea deve reagir profundamente sobre a estrutura do espírito. O espírito tem uma estrutura variável a partir do momento em que o conhecimento teia uma história. Efectivamente, a história humana pode muito bem, nas suas paixões, nos seus preconceitos, em tudo o que releva das impulsões imediatas, ser um eterno recomeço; mas há pensamentos que não recomeçam; são os pensamentos que foram rectificadados, alargados, completados. Eles não voltam à sua área restrita ou pouco firme. Ora, o espírito científico é essencialmente uma rectificação do saber, um alargamento dos quadros do conhecimento. Julga o seu passado histórico condenando-o. A sua estrutura é a consciência dos seus erros históricos. Cientificamente, pensa-se o verdadeiro como rectificação histórica de um longo erro, pensa-se a experiência como rectificação da ilusão comum e primeira. Toda a vida intelectual da ciência actua dialécticamente sobre esta diferencial do conhecimento, na fronteira do desconhecido. A própria essência da reflexão é compreender o que não se tinha compreendido. Os pensamentos não-baconianos, não-euclidianos, não-carte-

sianos estão resumidos nestas dialécticas históricas que apresentam a rectificação de um erro, a extensão de um sistema, o complemento de um pensamento.

Falta apenas um pouco de vida social, um pouco de simpatia humana, para que o novo espírito científico - o n.e.c. ganhe o mesmo valor formativo que uma nova economia política -- a n.e.p. Para muitos sábios que prosseguem com paixão a vida sem paixões, o interesse dos problemas presentes corresponde a um interesse espiritual primordial em que a razão joga o seu destino. Reichenbach fala justamente de um conflito de gerações no sentido profundo da ciência (1). Compton, aquando de uma visita a J. J. Thomson em Cambridge, encontrou G. P. Thomson, vindo para um fim de semana. Divertiram-se a examinar as fotografias obtidas com as ondas electrónicas; Compton fez notar a esse respeito: «Era um verdadeiro acontecimento dramático ver o grande velho homem de ciência, que gastou os seus melhores anos a afirmar a natureza corpuscular do electrão, cheio de entusiasmo pela obra de seu filho revelando que os electrões em movimento constituem ondas (2)». Do pai ao filho pode medir-se a revolução filosófica que reclama o abandono do electrão como coisa; pode apreciar-se a coragem intelectual necessária a uma tal revisão do realismo. O físico foi obrigado, de há vinte anos a esta parte, a reconstruir três ou quatro vezes a sua razão e, intelectualmente falando, a refazer a sua vida.

Basta, de resto, realizar psicologicamente o estado de inacabamento da ciência contemporânea para ter uma impressão íntima do que é o racionalismo aberto. É um estado de surpresa efectiva perante as sugestões do pensamento teórico. COMO muito bem diz JUVET (3): «É na surpresa criada por uma nova imagem ou por uma nova associação de imagens, que é preciso ver o mais importante elemento do progresso das ciências físicas, uma vez que é o espanto que excita a lógica, sempre bastante fria, e que a obriga a estabelecer novas coordenações, mas a causa própria desse progresso, a razão mesma da surpresa, há que procurá-la no interior dos campos de forças criadas na imaginação pelas novas associações de imagens, cuja potência é a medida da felicidade do sábio que soube reuni-las.»

Diante dos princípios surpreendentes da nova M~Ca quântica, o próprio E. Meyerson, que empregou tuotiros de

(1) Reichenbach, loc. cit., pp. 23-24. (2) Scient. Mont. 28, 1929, p. 301. Citado por Haiminsky, loc. cit., p. 348. (3) Juvet, loc. cit., p. 105.

meditação e de erudição para provar o carácter clássico da Relatividade, é assaltado por uma súbita hesitação. Pode duvidar-se que alguma vez se escreva uma Dedução quântica para acabar a demonstração empreendida na Dedução relativista. «Reconheçamos...», escreve ele (1), que relativamente a todas as teorias científicas que examinámos nos nossos livros, a da Relatividade ocupa um lugar à parte, e que não nos parece possível, nomeadamente, tentar neste caso o que julgamos ter conseguido levar a cabo para a teoria da relatividade.» Para Meyerson, a doutrina da Relatividade é de essência aberrante e essa aritmetização do possível não está longe de ser tida por irracional. Cremos, pelo contrário, que esta doutrina alarga positivamente a nossa concepção do real e que é uma conquista da razão nova sobre o irracionalismo. Esta crise é portanto uma normal crise de crescimento. É preciso preparar o espírito para receber a ideia quântica, o que só pode fazer-se organizando sistematicamente o alargamento do espírito científico.

Efectivamente, cremos, quanto a nós, que a Relatividade efectuou já a conquista de um pensamento eminentemente indutivo e que os êxitos pedagógicos na demonstração dedutiva de certas consequências relativistas nada tira do carácter genial e inesperado da Revolução einsteiniana. Os golpes de génio que acabam de fundar a mecânica ondulatória de Louis de Broglie e a mecânica das matrizes de Heisenberg repercutiram-se nas mesmas condições de inesperado e, por assim dizer, sem preparação histórica. Elas projectam para o passado as mecânicas clássicas e relativistas que tanto uma como outra já não são mais que aproximações mais ou menos grosseiras de teorias mais subtis e mais completas.

Será que uma razão geral e imutável conseguirá assimilar todos estes pensamentos surpreendentes? Poderá ela pô-los não somente em ordem mas sob a sua ordem? É essa, sem dúvida, a esperança profunda de Meyerson. Provando Meyerson a persistência dos modos de pensamento através dos séculos, encontrando, mesmo nos espíritos modernos, marcas duráveis do pensamento por participação dos primitivos, infere daí que o cérebro não poderia evoluir com maior rapidez que qualquer outro órgão. Esta tese meyersoniana é evidentemente a tese da prudência e só poderão opor-se-lhe antecipações mais ou menos temerárias. Contudo, não será o cérebro o verdadeiro lugar da evolução humana, o rebento terminal do impulso vital? Com as suas múltiplas conexões em expectativa, não será ele o

(1) E. Meyerson, *Le cheminement de la pensée*, t. 1, p. 67.

órgão das inúmeras possibilidades? Quando Juvet emprega a expressão tão sugestiva de campos de forças criados pela imaginação, pela aproximação de duas imagens diferentes, não estará ele a enipenhar-nos em dinamizar de algum modo as relações das ideias, em dar à ideia-força de Fouitlée um sentido cada vez mais físico? Uma ideia que evolui é um centro orgânico que se aglomera. Um cérebro estático não poderia inferir. Deveremos apoiar-nos para provar a permanência cerebral no pensamento usual, no pensamento sem esforço, no pensamento que, ao dar ordens a músculos, aceita a união com o que não evolui? Então está tudo acabado: a alma, o corpo, o próprio Mundo que nos é entregue primeiramente como um objecto de grandes e nobres traços. Pelo contrário, em vez desta comunhão com uma realidade global à qual o sábio voltaria com júbilo, como a uma filosofia original, não conviria, para compreender a evolução intelectual, prestar atenção ao pensamento ansioso, ao pensamento à procura de objecto, ao pensamento que procura ocasiões dialécticas para sair de si próprio, para romper os seus próprios quadros, numa palavra, ao pensamento em vias de objectivação? Não pode então deixar de concluir-se que um tal pensamento é criador.

O avanço psicológico realizado pela Física Matemática é posto em evidência por Juvet. Ele insiste no facto de que as ideias mais ousadas e mais fecundas são devidas a sábios muito jovens (1). «Heisenberg e o seu émulo Jordan nasceram com o século; na Inglaterra, um espantoso gênio... Dirac, criou um método original e novo e descobriu as razões teóricas profundas daquilo a que se chama o spin do electrão, ainda não tinha vinte e cinco anos. Se nos lembrarmos de que Bohr era muito jovem quando propôs, em 1913, o seu modelo de átomo e que Einstein descobriu aos vinte e cinco anos a relatividade restrita e propôs pouco depois, pela primeira vez, uma explicação das leis da irradiação pelos quanta de luz... teremos fundamento para crer que o século XX assistiu a uma mutação do cérebro ou do espírito do homem, particularmente apto a destrinçar as leis da natureza, do mesmo modo que no século passado, a precocidade dos Abel, dos Jacobi, dos Galois, dos Hermite, era talvez devida a uma mutação do espírito orientada para uma adaptação ao mundo dos seres matemáticos.»

Cada qual pode aliás reviver estas mutações espirituais recordando-se da perturbação e da emoção trazidas pelas novas doutrinas à cultura pessoal- elas reclamam tantos esforços que

(1) Juvet, loc. cit., p. 134.

não parecem de modo nenhum naturais. Mas a natureza naturante está em acção até nas nossas almas; um dia, apercebemo-nos de que compreendemos. A que luz se reconhece primeiro o valor destas sínteses súbitas? A uma clareza inefável que põe na nossa razão segurança e felicidade. Esta felicidade é a marca primeira do progresso. É caso para recordar aqui com o fenomenologista Jean Hering (1) «que a pessoa mais evoluída estará sempre, pela maior extensão do seu horizonte, em condições de compreender as que lhe são inferiores..., ao passo que o contrário não é possível». A compreensão tem um eixo dinâmico, é um impulso espiritual, é um impulso vital. A mecânica einsteiniana acrescenta algo relativamente à compreensão dos conceitos newtonianos. A mecânica brogliana acrescenta algo em relação à compreensão dos conceitos puramente mecânicos e puramente ópticos. Entre estes dois últimos grupos de conceitos, a física nova determina uma síntese que desenvolve e completa a epistemologia cartesiana. Se soubéssemos acompanhar a cultura objectiva com uma cultura psicológica, ao embeber-nos iluamente na pesquisa científica com todas as forças da vida, sentiríamos a súbita animação que as sínteses criadoras da Física Matemática dão à alma.

(1) J. Hering, *Phénoménologie el philosophie religieuses*, Estrasburgo, 1925, p. 126.

ÍNDICE

AS

Pág. INTRODUÇÃO-A complexidade essencial da filosofia científica,

Plano da obra	9
CAPITULO	1 - Os dilemas da filosofia geométrica 21
CAPITULO	11 - A mecânica não-newtoniana 35
CAPITULO	111 - Matéria e irradiação 47
CAPITULO	IV -Ondas e corpúsculos 63
CAPITULO	V - Determinismo e indeterminismo. A noção de objecto	73
CAPITULO	VI - A epistemologia não-cartesiana 97

Impressão e acabamento da PRINTEFÓLIO - Artes Gráficas, Lda.

-para EDIÇÕES 70, Lda. em Janeiro de 1996