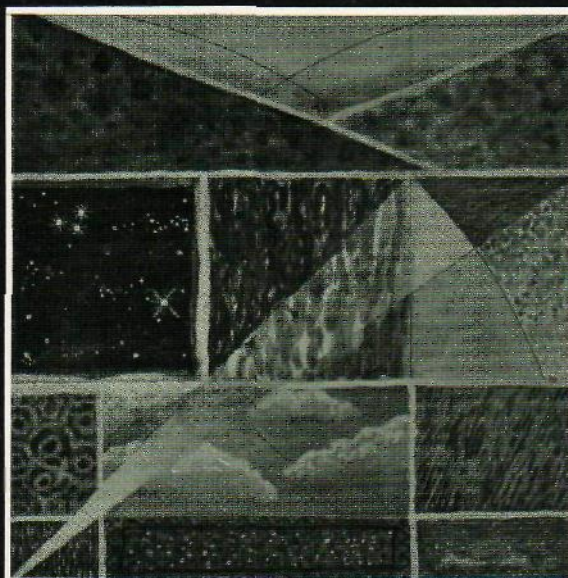


A NOVA ALIANÇA

Ilya Prigogine • Isabelle Stengers



EDITORA



UnB

© 1984 by Ilya Prigogine

Direitos exclusivos desta tradução: Editora Universidade de Brasília

Primeira edição: 1984

primeira reimpressão: 1991

Título original: La nouvelle alliance; métamorphose de la science

Editora Universidade de Brasília

Caixa Postal 15-3001 70910

Brasília, DF

Editores: Célia Ladeira, Lúcio Reiner, Manuel Montenegro da Cruz e
Maria Baptista Dutra

Controladores de texto: Alfredo Henrique Pacheco Henning,
Patrícia Maria Silva de Assis e Veralúcia Pimenta de Moura

Supervisão gráfica: Elmano Rodrigues Pinheiro

Capa: Nanche Lãs Casas

ISBN: 85-230-0149-2

Dados catalográficos

Prigogine, Ilya

A nova aliança: metamorfose da ciência, por Ilya Prigogine e Isabelle Stengers.
Tra. de Miguel Faria e Maria Joaquina Machado Trinciera. Brasília, Editora Univer-
sidade de Brasília, 1991.247 p.

SUMARIO

INTRODUÇÃO: METAMORFOSE DA CIÊNCIA

LIVRO I A MIRAGEM DO UNIVERSAL: A CIÊNCIA CLÁSSICA

CAPÍTULO I: <i>O projeto da ciência moderna</i>	
1. O novo Moisés	19
2. O mundo desencantado	21
3. A síntese newtoniana	26
4. O diálogo experimental	29
5. O mito nas origens da ciência	32
6. O mito científico hoje	37
CAPÍTULO II: <i>A identificação do real</i>	
1. As leis de Newton	43
2. Movimento e devir	47
3. A linguagem da dinâmica	53
4. A dinâmica e o demônio de Laplace	59
CAPÍTULO III: <i>As duas culturas</i>	
1. O discurso do vivente	53
2. A ratificação crítica	67
3. Uma filosofia da natureza?	70

LIVRO II A CIÊNCIA DO COMPLEXO

CAPÍTULO IV: <i>A energia e a era industrial</i>	
1. O calor, rival da gravitação	
2. O princípio de conservação da energia	
3. Das máquinas térmicas à flecha do tempo	
4. O princípio de ordem de Boltzmann	
CAPÍTULO V: <i>Os três estágios da termodinâmica</i>	
1. Fluxos e forças	105
2. A termodinâmica linear	110
3. A termodinâmica não-linear	111
4. O encontro com a biologia molecular	116

5. Para além do limiar de instabilidade química	118
6. História e bifurcações	122
7. De Euclides a Aristóteles	124
CAPÍTULO VI: <i>A ordem por flutuação</i>	
1. A lei dos grandes números	129
2. Flutuações e cinética química	130
3. Estabilidade das equações cinéticas	Lu
4. Acaso e necessidade	
LIVRO III DO SER	
AO DEVIR	
CAPÍTULO VII: <i>O choque das doutrinas</i>	
1. A abertura de Boltzmann	- 149
2. Dinâmica e termodinâmica: dois mundos separados	153
3. Os conjuntos de Gibbs	155
4. A interpretação subjetivista da irreversibilidade	158
CAPÍTULO VIII: <i>A renovação da ciência contemporânea</i>	
1. Para além da simplicidade do microscópico	163
2. O fim da universalidade: a relatividade	166
3. O fim do objeto galileano: a mecânica quântica	167
4. Relações de incerteza e de complementaridade	172
5. O tempo quântico	176
CAPÍTULO IX: <i>No sentido da síntese do simples e do complexo</i>	
1. No limite dos conceitos clássicos	; 6i
2. A renovação da dinâmica	
3. Das flutuações ao devir	1 °"
4. Uma complementaridade alargada	
5. Uma nova síntese	, ::
CONCLUSÃO: O REENCANTAMENTO DO MUNDO	
1. O fim da onisciência	203
2. O tempo reencontrado	210
3. Atores e espectadores	£i2
4. Um turbilhão na natureza turbulenta	215
5. Uma ciência aberta	218
6. A interrogação científica	221
7. As metamorfoses da natureza	224
NOTAS	229

Introdução METAMORFOSE DA CIÊNCIA

É lugar-comum dizer-se que a ciência conheceu notáveis progressos no decurso dos três séculos que vão de Newton à atualidade. É talvez menos banal sublinhar a que ponto nossas idéias mudaram a propósito da natureza que descrevemos e do ideal que orienta nossas descrições. É este o tema essencial deste livro: partindo duma natureza semelhante a um autômato, submetida a leis matemáticas cujo calmo desenvolvimento determina para sempre seu futuro tal como determinou seu passado, chegamos hoje a uma situação teórica completamente diferente, a uma descrição que situa o homem no mundo que ele mesmo descreve e implica a abertura desse mundo. Não é exagero falar dessa transformação conceitual como de uma verdadeira *metamorfose* da ciência. Lento trabalho de algumas questões, postas muitas vezes "desde a origem", que continuam sob nossos olhos a metamorfosear a interrogação científica.

Pensamos que estas questões não foram somente científicas e que os valores em jogo da metamorfose da ciência não são todos de ordem científica. E, singularmente, isto é uma questão bem mais antiga do que a ciência moderna, que não cessou de incomodar alguns cientistas: a das conclusões de que a existência da ciência e o conteúdo das teorias científicas podem ter algo a ver com as relações que os homens mantêm com o mundo natural. Semelhantes conclusões não podem ser impostas pela ciência como tal, mas, no entanto, fazem parte integrante da história da metamorfose desta mesma ciência. Por que nos surpreendemos com isto? A ciência faz parte do complexo de cultura a partir do qual, em cada geração, os homens tentam encontrar uma forma de coerência intelectual. Ao contrário, esta coerência alimenta em cada época a interpretação das teorias científicas, determina a ressonância que suscitam, influencia as concepções que os cientistas se fazem do balanço da sua ciência e das vias segundo as quais devem orientar sua investigação. Para lá do seu conteúdo teórico, a metamorfose que vamos descrever renova a nossa concepção das relações dos homens com a natureza e a ciência como prática cultural.

Para situar de maneira mais precisa esses diferentes valores em jogo, escolhemos lembrar a afirmação de admirável transparência, na qual Jacques Monod concentrou há pouco a lição que ele julgou tirar dos progressos teóricos da biologia molecular: "A velha aliança rompeu-se; o homem sabe finalmente que está só na imensidão indiferente do Universo de que emergiu por acaso"¹. Mostraremos que, ao enunciar esta conclusão, Monod proclamava não somente uma interpretação possível de certos resultados da biologia moderna, mas também a de um conjunto teórico bem mais vasto, que chamaremos de ciência "clássica", e que esta ciência não cessou, no decurso de três séculos de existência, de concluir que o homem é um estranho no mundo que ela descreve. Ora, nós temos o direito de constatar que nisto há um certo paradoxo. É o que se passa com Monod: seu relato é o de um êxito retumbante, mas acaba com uma nota que se afigura trágica. A biologia molecular descodificou o texto genético, cuja existência constituía para alguns o segredo da vida. Ela obteve assim um tipo de sucesso que confirma a significação mais profunda que podemos atribuir à atividade científica: a de uma tentativa de comunicar com a natureza — de aprender ao seu contato quem somos nós e a que título participamos da sua evolução. E eis que uma permuta fecunda faz de nós seres solitários no mundo, ciganos às margens do Universo.

Este é o contexto em relação ao qual queremos situar a metamorfose da ciência, o de uma ciência clássica cujos êxitos se puderam considerar trágicos e da qual dizemos que hoje não é mais a nossa ciência. Exploremos agora de maneira mais precisa esta ciência clássica, a fim de compreender a articulação que ela apresenta entre seu conteúdo teórico e a interpretação que dá do "homem" e da prática científica.

Dissemos que a ciência podia ser descrita como uma tentativa de comunicar com a natureza, estabelecer com ela um diálogo, donde se destaquem, pouco a pouco, perguntas e respostas. Devemos aprimorar esta descrição, pois não permite descobrir o que é próprio da ciência, seja ou não clássica, porquanto sempre se tentou adivinhar a natureza, decifrar o segredo de suas estabilidades e dos acontecimentos raros que pontuam seu curso. Como distinguir o homem de ciência moderna dum mago ou dum feiticeiro e até, no ponto mais distante das sociedades humanas, da bactéria, que também ela interroga o mundo e não cessa de pôr à prova a decifração dos sinais químicos em função dos quais se orienta?² Como caracterizar o diálogo que a ciência moderna mantém há três séculos?

Em suma, poderíamos dizer que o diálogo conduzido pela ciência moderna relança um empreendimento sem precedentes ao mesmo tempo que enceta uma nova aventura. Explicar-nos-emos quanto a este ponto; digamos desde já que seguimos Alexandre Koyré quando ele adianta que o *diálogo experimental* é que constitui a prática original chamada de ciência moderna.

O diálogo experimental remete a duas dimensões constitutivas das

relações homem-natureza: *compreender e modificar*. A experimentação não supõe a única observação fiel dos fatos tais como se apresentam, nem a única busca de conexões empíricas entre fenômenos, mas exige uma interação da teoria e da manipulação prática, que implica uma verdadeira estratégia. Um processo natural se estabelece como chave possível duma hipótese teórica; e é nessa qualidade que é então preparado, purificado, antes de ser interrogado na linguagem dessa teoria. E assim temos um empreendimento sistemático que volta a provocar a natureza, a obrigá-la a dizer sem ambigüidades se obedece ou não a uma teoria.

Os homens de ciência têm contado, de mil maneiras, este encantamento: o fato de terem encontrado a "boa" questão lhes vale a boa fortuna de verem juntar-se as peças dispersas, e a incoerência dar lugar a uma lógica estrita. Conhecemos todos os relatos deste gênero a propósito de uma determinada descoberta célebre; mas cada investigador conheceu essa experiência, quer tenha desvendado um pequeno ardil ou um segredo maior. Neste sentido, a ciência pode ser descrita como um jogo a dois parceiros: trata-se de adivinhar o comportamento duma realidade distinta de nós, insubmissa tanto a nossas crenças e ambições quanto a nossas esperanças. Não se obriga a dizer *tudo* o que se quer à natureza, e é porque a ciência não é um monólogo, porque ao "objeto" interrogado não faltam meios para desmentir a hipótese mais plausível ou mais sedutora, em resumo, porque o jogo é arriscado, que é fonte de emoções raras e intensas.

Mas a singularidade da ciência moderna está longe de consistir nestas considerações de estratégia. O próprio Karl Popper, partindo em busca duma descrição normativa da racionalidade científica, teve de reconhecer que, em última análise, a ciência racional deve sua existência ao seu *sucesso*: se o procedimento científico pode ser praticado, é porque ele descobre pontos de acordo notáveis entre nossas hipóteses teóricas e as respostas experimentais¹. A ciência é um jogo arriscado, mas parece ter descoberto questões às quais a natureza responde de maneira coerente, uma linguagem teórica pela qual inúmeros processos se deixam decifrar. Esse sucesso da ciência moderna constitui um *fato histórico*; não predizível *apriori*, mas incontornável desde que ocorreu, a partir do momento em que, no seio duma dada cultura, esse tipo particular de questão passou a desempenhar o papel de chave de decifração. Logo que tal ponto foi atingido, deu-se uma transformação sem retorno das nossas relações com a natureza que produziu o sucesso da ciência moderna. Nesse sentido, pode-se falar de *revolução científica*.

A história dos homens conheceu outros pontos singulares, outros "concursos de circunstâncias" donde resultou uma evolução irreversível, aquilo a que Monod chamava uma *escolha*: orientação não necessária, parece, antes de ser tomada, mas que no entanto provoca uma transformação inexorável do mundo onde ela teve lugar². O que se chamou de *revolução neotônica* parece de fato ter sido uma dessas escolhas. No caso da revolução científica, é-nos dado viver alguns dos seus episódios decisivos, e também poder estudar suas

gêneses. A história da inserção "mundana" das atividades científicas e técnicas constitui, nesse sentido, o exemplo melhor documentado de um desses processos que determinam a evolução biológica e social: o nascimento e desenvolvimento duma transformação, com a mistura de acaso e de necessidade que lhe dá um movimento de história.

Vamos agora reconduzir-nos às questões para as quais se orientou nossa introdução. Como caracterizar essa orientação, essa "escolha" a que se chamou de "revolução científica"? Tentamos sublinhar algumas de suas propriedades situando-a no conjunto das práticas cognitivas, que inclui o caso da bactéria e de sua exploração do meio químico. Consideramos os primeiros sucessos da dinâmica clássica (capítulo primeiro) mais como um fato do que como um direito fundado sobre uma racionalidade completamente nova. Outros adotaram um outro procedimento: reconheceram no nascimento da ciência moderna o advento duma nova cultura, sem medida comum com o que a precedeu — artes, moral, política — e lhe serve de contorno. Mas seja qual for a interpretação, ela tem por objeto os mesmos "sucessos", que têm a paradoxal dimensão que já referimos: a ciência, nos seus primeiros passos, pôs com sucesso questões que implicam uma natureza morta e passiva; o homem do século XVII não conseguiu comunicar com a natureza senão para descobrir a terrificante estupidez de seu interlocutor. Muitos, portanto, se julgaram forçados a assumir esse paradoxo. Vendo nos primeiros êxitos da ciência moderna o preço coroando um procedimento enfim racional, viram a solidão "descoberta" por essa ciência como o preço a pagar por essa racionalidade. A ciência moderna interpretada sob o ponto de vista desses primeiros sucessos, *quer dizer, a ciência clássica*, parecia portanto impor uma escolha entre a visão de um homem radicalmente estranho ao mundo e a recusa do único modo fecundo de diálogo com a natureza.

Estava aí um dilema desastroso. A ciência moderna paralisou de pasmo seus adversários, que viam nela um empreendimento inaceitável e ameaçador, bem como seus partidários, que se empenhavam numa investigação tão heróica que foi necessário uma trágica decisão para assumi-la. Pensamos que esse dilema é solidário das ilusórias certezas e recusas da ciência clássica. E a aposta do nosso livro é contribuir para pôr termo a essa ilusão.

A ciência moderna começou por *negar* as visões antigas e a legitimidade das questões postas pelos homens a propósito da sua relação com a natureza. Ela iniciou o diálogo experimental, mas a partir duma série de pressupostos e de afirmações dogmáticas que votavam os resultados dessa interrogação (e sobretudo a "concepção do mundo" que os acompanhava) a se apresentarem como inaceitáveis para os outros universos culturais, incluindo o que os produziu. A ciência moderna constituiu-se como produto de uma cultura, contra certas concepções dominantes desta cultura (o aristotelismo em particular, mas também a magia e a alquimia). Poder-se-ia mesmo dizer que ela se constituiu contra a natureza, pois que lhe negava a complexidade e o devir em nome dum mundo eterno e cognoscível regido por um pequeno número de leis simples e imutáveis.

Esta idéia duma "natureza autômata", cujo comportamento teria por chave leis acessíveis ao homem através dos meios finitos da mecânica racional, era certamente uma aposta audaciosa. Ela suscitou um entusiasmo e uma rejeição igualmente apaixonados. Estabeleceu também, fato doravante incontornável, que leis matemáticas podem efetivamente ser descobertas. A ciência newtoniana descobriu completamente uma lei universal, à qual obedecem os corpos celestes e o mundo sublunar. É a mesma que faz cair as pedras para o solo e os planetas girar à volta do sol. Este primeiro sucesso nunca foi desmentido. Grande número de fenômenos obedecem a leis simples e ma temática veis. Mas, desde então, a ciência parecia mostrar que a natureza não é senão um autômato submisso. Uma hipótese fascinante e temerária tornara-se a "triste" verdade. Daí por diante, cada progresso da ciência iria reforçar a angústia e o sentimento de alienação daqueles mesmos que lhe dão sua confiança e tentam alicerçar nela uma concepção coerente da natureza. A ciência parecia concluir pela estupidez da natureza.

Mas a ciência de hoje não é mais a ciência "clássica". Os conceitos básicos que fundamentavam a "concepção clássica do mundo" encontraram hoje seus limites num progresso teórico que não hesitamos em chamar de metamorfose. A própria ambição de reduzir o conjunto de processos naturais a um pequeno número de leis foi abandonada. As ciências da natureza descrevem, de ora em diante, um universo fragmentado, rico de diversidades qualitativas e de surpresas potenciais. Descobrimos que o diálogo racional com a natureza não constitui mais o sobrevôo desencantado dum mundo lunar, mas a exploração, sempre local e eletiva, duma natureza complexa e múltipla.

Ciência e "desencanto do mundo" não são sinônimos. Nesta perspectiva, podemos reinterpretar os sucessos da ciência clássica, mostrar como eles reforçaram e confirmaram as *particularidades culturais* dessa ciência desde seus princípios até parecer impô-los como outras tantas exigências de uma racionalidade universal.

Como descrever com maior precisão essa "metamorfose"? E preciso, em primeiro lugar, considerar a que ponto o objeto das ciências da natureza se transformou. Não estamos mais no tempo em que os fenômenos imutáveis prendiam a atenção. Não são mais as situações estáveis e as permanências que nos interessam antes de tudo, mas as evoluções, as crises e as instabilidades. Já não queremos estudar apenas o que permanece, mas também o que se transforma, as perturbações geológicas e climáticas, a evolução das espécies, a gênese e as mutações das normas que interferem nos comportamentos sociais.

Podemos dizer que um novo naturalismo está prestes a se descobrir: as sociedades industriais procuram compreender-se melhor; interrogando os saberes e as práticas das sociedades primitivas, elas estudam os problemas da evolução do animal até o homem, observam as sociedades animais. A biologia molecular trouxe uma contribuição fundamental] a essa descoberta do homem

em relação à natureza, mostrando, entre outros fatos surpreendentes, a universalidade do código genético.

Mas essa transformação dá apenas uma dimensão da renovação contemporânea da ciência, insuficiente em si mesma para provocar uma metamorfose. Em primeiro lugar, notar-se-á que, sob diversas modalidades, as preocupações que acabamos de enunciar nunca estiveram completamente ausentes. Por outro lado, não se pode ignorar o peso persistente, cultural e teórico dos conceitos que subtendem a ciência a que chamamos de clássica. As conclusões de Jacques Monod fornecem-nos, a este respeito, um exemplo eloquente: a descoberta de certos mecanismos determinantes dos funcionamentos celulares, a descrição da sua lógica, as hipóteses quanto aos processos evolutivos que deram existência, desde que Monod os situa no quadro de uma concepção clássica do mundo, levam-no à idéia da solidão do homem num mundo que lhe é estranho.

Observou-se que poucos acontecimentos foram tão freqüentemente anunciados na história das ciências como o fim da concepção mecanicista do mundo, o que implica que poucas ressurreições foram tão repetidas quanto a da Fênix mecanicista. E, com efeito, tanto no passado como na hora atual, os conceitos clássicos contribuíram para definir os valores em jogo e o significado das inovações teóricas; estiveram no centro das discussões sobre a natureza e os limites dos diferentes modos de descrição, ressurgiram, com toda a inocência, no próprio cerne das teorias que, tal como a mecânica quântica, se supunha tê-los ultrapassado.

Este peso cultural dos conceitos clássicos apresenta um risco. Dissemo-lo já: a concepção do mundo produzida pela ciência clássica parece obrigar a escolher entre a aceitação das conclusões alienantes que parecem impostas pela ciência e a rejeição do procedimento científico. A ciência clássica caracteriza-se, pois, por uma inserção cultural instável: ela suscita o entusiasmo, a afirmação heróica das duras implicações da racionalidade e a rejeição, até mesmo das reações irracionalistas.

Faremos em seguida alusão aos movimentos atuais ditos de *anticiência* que caracterizam esta situação. Detenhamo-nos aqui no drama do movimento irracionalista que, na Alemanha dos anos 20, serviu de contexto cultural à mecânica quântica⁵. Em face de uma ciência oficial que se associava a um complexo de noções como *causalidade*, *legalidade*, *determinismo*, *meccanicismo*, *racionalidade*, surgiu um conjunto de temas estranhos à ciência clássica: a *vida*, o *destino*, a *liberdade*, a *espontaneidade* tornavam-se deste modo as emanções de profundidades ocultas, que se pretendiam inacessíveis à razão.

Sem falar mais do contexto sociopolítico particular que lhe conferiu seu caráter maciço e virulento, essa rejeição da ciência racional ilustra o que dissemos a propósito dos riscos da ciência clássica. Não reconhecendo qualquer lugar ao que, sob os nomes de liberdade, destino, espontaneidade, faz referência a um conjunto de experiências significativas para certos

homens, a ciência clássica viu esses temas tornarem-se pontos de fixação de reações irracionais, às quais conferiram um temível poder intelectual.

Acabamos de falar de liberdade e de atividade espontânea; voltaremos a encontrar esses temas ao longo deste livro; tratar-se-á de mostrar por que a ciência clássica não podia senão ficar insensível às questões que eles suscitam. Mostraremos como esses temas reaparecem em algumas teorias físicas, *articulados* doravante com os temas da legalidade, do determinismo e da causalidade. É sem dúvida aí que está o símbolo do que entendemos por metamorfose da ciência: a abertura dum novo espaço teórico *no seio do qual* se inscrevem algumas oposições que, anteriormente, tinham definido as *fronteiras* da ciência clássica, espaço no seio do qual se afirmam, pelo contrário, diferenciações intrínsecas entre objetos físicos e, antes de mais, entre sistemas conservativos e sistemas dissipativos. Não se trata evidentemente de pretender que a ciência tenha, doravante, capacidade para decidir sobre o que acontece com a liberdade do homem. Mas é certo que a idéia de uma natureza determinista e estéril foi, por sua vez, parte beneficiária em certas concepções que se construíram em nossa cultura a propósito dessa liberdade.

Quais são os pressupostos da ciência clássica de que pensamos que a ciência se afastou atualmente? Pode considerar-se que se articulam em torno duma convicção central: a de que o *microscópico é simples*, regido por leis matemáticas simples. O que significa que a função da ciência é a de ultrapassar as aparências complexas e reduzir (pelo menos de direito) a diversidade dos processos naturais a um conjunto de efeitos dessas leis. Esta concepção dos objetivos científicos é acompanhada por uma discriminação entre o que, na natureza, se supõe corresponder a uma realidade "objetiva", e o que é considerado ilusório, ligado à nossa própria subjetividade. Com efeito, as leis matemáticas simples às quais, segundo se julga, os comportamentos elementares estão submetidos — e que constituiriam por consequência a verdade última do Universo — são quase sempre concebidas sobre o modelo geral das leis dinâmicas. Ora, como veremos, essas leis descrevem o mundo em termos de trajetórias deterministas e reversíveis. Por isso, não são somente a liberdade ou a possibilidade de inovação que se encontram negadas, mas também a idéia de que certos processos, como a combustão duma vela ou o envelhecimento dum animal, sejam intrínseca mente irreversíveis. Que aquilo que está feito nem sempre possa ser desfeito, que a vela possa "não arder" ou o animal rejuvenescer, mais não seriam do que verdades relativas, ditadas pela imperfeição de nossos meios de manipulação e não pelas "leis objetivas" que regem o mundo eterno e conservativo.

Há cinquenta anos — desde o aparecimento da mecânica quântica — que a idéia da simplicidade do microscópico se tornou insustentável. Sabíamos que não tínhamos acesso aos átomos e moléculas senão por intermédio de nossos instrumentos que, todos eles, são macroscópicos, e que nossas teorias a seu respeito são intrinsecamente determinadas por essa mediação. No entanto, no contexto da mecânica quântica, esse saber tinha apenas um alcance negativo.

Não acontece mais o mesmo hoje em dia. Descobrimos que a irreversibilidade desempenha um papel construtivo na natureza, já que permite processos de organização espontânea. A ciência dos processos irreversíveis reabilitou no seio da física a concepção de uma natureza criadora de estruturas ativas e proliferantes. Por outro lado, a partir de agora sabemos que, mesmo em dinâmica clássica, no que respeita aos movimentos planetários, o mítico demônio onisciente, que se dizia ser capaz de calcular o futuro e o passado a partir de uma descrição instantânea, morreu. Encontramo-nos num mundo irredutivelmente aleatório, num mundo em que a reversibilidade e o determinismo figuram como casos particulares, em que a irreversibilidade e a indeterminação microscópicas são regra.

O nosso livro tem por tema essa metamorfose conceitual da ciência, desde a idade de ouro da ciência clássica até a abertura atual. Não se tratará, por conseguinte, nem de enciclopédia nem de vulgarização. Falaremos pouco ou mesmo nada de aplicações teóricas tão fascinantes como a astrofísica ou a ciência das partículas elementares. Não consideraremos a relatividade senão sob alguns aspectos particulares. Procuraremos pensar algumas idéias gerais, as que norteiam durante um tempo a ciência e as que ela recusa. Queremos assim depreender o significado de três séculos de evolução científica segundo uma perspectiva particular, e lembrar como a ciência, parte de uma cultura ocidental dita clássica, através de um complexo processo histórico, se abriu pouco a pouco até poder integrar diferentes interrogações.

Consagramos um grande espaço, talvez demasiado, a certos domínios teóricos que nos são familiares. Não se trata somente de um problema de perspectiva, mas de um caso de aplicação de uma de nossas teses centrais, segundo a qual os problemas que marcam uma cultura podem ter uma influência sobre o conteúdo e o desenvolvimento das teorias científicas. Esta tese radica-se em cada um de nós na sua experiência pessoal. O problema ao qual, ao longo de sua carreira científica, tentou responder, o problema do tempo em sua relação com a complexidade da natureza, foi suscitado por uma exigência propriamente cultural, aquela que Bergson exprimia ao escrever: "O tempo é invenção, ou não é absolutamente nada". Os novos desenvolvimentos que teremos ocasião de evocar (capítulos VI e IX) constituem nesse sentido um início de resposta a uma questão cuja urgência, suscitada pelo contexto cultural, encontrou os meios teóricos e técnicos necessários à sua fecundidade. Bergson tinha explorado os *limites* da ciência clássica. As respostas, ou os começos de respostas, que vamos apresentar, nos conduziram *para lá* dos limites da ciência clássica. Assim Bergson tinha sublinhado que, desde as primeiras teorias mecânicas até à relatividade de Einstein (e podemos acrescentar: até à mecânica quântica), tempo e espaço, tempo e movimento, encontravam-se tão estreitamente ligados que quase se haviam confundido. Ora, aquilo a que assistimos atualmente é uma *redescoberta* do tempo físico, e pensamos que essa redescoberta não resulta da simples lógica interna das teorias científicas mas de questões, que foi necessário *decidir* continuar a

colocar, que foi necessário decidir que não podiam ser olvidadas por uma física que visa compreender a natureza.

Poderá surpreender o lugar ocupado pela dinâmica clássica em nossa exposição mas, a nossos olhos, ela constitui o melhor ponto de referência para compreender a transformação contemporânea da ciência. Assim, a mecânica quântica, que é a nossa teoria atual dos comportamentos microscópicos, põe com certeza problemas novos que a dinâmica ignorara. Mas conserva algumas das posições conceituais da dinâmica, especialmente no que respeita ao tempo e ao devenir. Por outro lado, as teorias recentes que exporemos no fim deste livro se aplicam tanto à dinâmica clássica quanto à mecânica quântica.

É talvez a propósito destas teorias que a distância entre nosso livro e uma obra de vulgarização é mais acentuada. Trata-se, com efeito, de teorias ainda em plena evolução, e alguns dos resultados estão apenas em via de publicação. É que não queremos pôr em evidência a aquisição definitiva da ciência, seus resultados estáveis e bem estabelecidos. Não pretendemos fazer visitar o edifício imponente duma ciência cristalizada e triunfante. Queremos realçar a criatividade da atividade científica, as perspectivas e os problemas novos que ela faz surgir. O que mais é: sabemos hoje que estamos somente no início da exploração; a síntese teórica universal não nos espera na curva dum progresso, em nenhum dos domínios da física. Não veremos o fim da incerteza e do risco. Não tínhamos, portanto, nenhuma razão para esperar, e o amanhã não nos trará mais segurança que o hoje. Optamos por apresentar as coisas no seu estado atual, não ignorando quão incompletas são nossas respostas, quão imprevisíveis são ainda os problemas que nossas atuais teorias suscitarão. O que estava em jogo parecia-nos suficientemente importante para justificar esta escolha.

Uma derradeira observação enfim; do que se segue, algumas pessoas poderão ficar com a impressão duma certa "sobrecarga", com a idéia de que alguns dos temas abordados não eram necessários ao nosso fim. E, com efeito, não tentamos dar a clareza de um traçado concluído ao nosso estudo. Não há, na hora atual, um modo canônico de aproximação para o problema da ciência; conhecemos somente o preço inaceitável que pagaram alguns dos que tentaram "purificar" o assunto e esquecer que a descrição da atividade científica não pode, sem violência, ser separada da do mundo a que pertence. E, portanto, quisemos que este estudo desse uma impressão, não certamente de desordem, mas de abertura; quisemos assinalar de passagem alguns dos problemas postos pelo nosso tema, mesmo quando não pudéssemos fazer-lhes justiça. Quisemos ainda que este livro tivesse a marca das múltiplas opções que devíamos ter realizado, e que ele manifestasse assim a necessidade duma reflexão mais completa sobre a ciência na sociedade.

Nossa exposição se ordena em três partes. A primeira descreve a história triunfal da ciência clássica e as conseqüências culturais desse triunfo. Acabamos de esboçar a descrição das teorias e dos conceitos que então se

impuseram. Em primeiro lugar, veremos a ciência ser aceita com entusiasmo: entusiasmo pelos resultados já alcançados, entusiasmo pelas promessas de desenvolvimento futuro; em seguida, veremos a confusão, a inquietude e a hostilidade se sucederem ao entusiasmo. Mostraremos igualmente a polarização da cultura em torno do problema que põe, para o futuro, a *existência* da ciência clássica e dos sucessos notáveis que ela obtém: será preciso aceitar este sucesso como tal, com o inconveniente de lhe limitar o alcance, ou então, pelo contrário, denunciar o procedimento científico como parcial ou ilusório? Estas duas atitudes levaram ao mesmo resultado, ao choque daquilo a que se chamou as "duas culturas", humanista e científica,

E, no entanto, na própria hora em que a ciência clássica triunfava, nesse início do século XIX em que o programa newtoniano se impunha à ciência francesa, que durante algum tempo dominava a Europa, ia se delinear a primeira ameaça contra o edifício newtoniano. Na segunda parte deste estudo, seguiremos o desenvolvimento da ciência do calor, a partir do desafio que lançava a formulação, por Fourier, duma lei matemática para a propagação do calor. A sequência da história iria demonstrar que o desafio era mais grave do que o fora a formulação duma lei matemática simplesmente estranha à ciência newtoniana dos movimentos; tratava-se, com efeito, da primeira descrição matemática daquilo que a dinâmica não podia admitir: o processo irreversível.

Das duas herdeiras da ciência do calor, a ciência das conversões da energia e a ciência das máquinas térmicas — ambas concebidas ainda segundo o modelo clássico — nasceu a primeira ciência não clássica, a termodinâmica. Foi ela, diz-se isso inúmeras vezes, que introduziu a "flecha do tempo" em física⁶. Seguiremos a termodinâmica até seus desenvolvimentos contemporâneos, até à descoberta dos processos de organização espontânea e das *estruturas dissipativas* cuja gênese implica a associação indissolúvel do acaso e da necessidade. No futuro, a física retoma o que a ciência clássica negava em nome da reversibilidade dos comportamentos elementares: as noções de estrutura, de função e de história.

Desde então, o confronto dos dois conjuntos teóricos, assinalado desde o fim do século XIX, torna-se propriamente inaceitável. Nenhuma solução que faça da irreversibilidade uma ilusão ou o resultado duma descrição aproximada pode mais ser aceita: a irreversibilidade é fonte de ordem, criadora de organização. Duas ciências para um mundo só, é o assunto da terceira parte deste estudo, certamente a mais técnica. Foi, com efeito, graças à renovação conceptual e técnica da física do século XX que nos valeram a relatividade e sobretudo a mecânica quântica, com suas noções de operadores e complementaridade, sem esquecer o progresso, menos conhecido, das próprias teorias dinâmicas clássicas, que se dimensionou um abismo antes intransponível. Procuramos reduzir a dimensão técnica desta exposição, necessária à introdução de noções novas numa linguagem bastante precisa para evitar toda a ambigüidade. O leitor mais apressado encontrará nas

conclusões um comentário não-técnico do renovamento conceptual em questão.

A ciência clássica certamente não impunha, mas permitia algumas ilusões. Essas ilusões estão hoje excluídas. Em particular, nós não temos mais hoje o direito de afirmar que o único fim digno da ciência é a descoberta do mundo a partir do ponto de vista exterior ao qual só poderia ter acesso um desses demônios que povoam as exposições da ciência clássica. Veremos que nossas teorias mais fundamentais se definem doravante como obra de seres inscritos no mundo que eles exploram. Nesse sentido, a ciência abandonou, portanto, toda a ilusão de "extraterritorialidade" teórica⁷, e as pretensões desta ordem não podem mais se autorizar a não ser de tradições e esperanças. Mas pensamos que é a uma outra extraterritorialidade que a ciência deve renunciar; a cultural. É urgente que a ciência se reconheça como parte integrante da cultura no seio da qual se desenvolve.

Erwin Schrödinger escreveu um dia, com a indignação de numerosos filósofos das ciências: "... Existe uma tendência para esquecer que o conjunto da ciência está ligado à cultura humana em geral, e que as descobertas científicas, mesmo as que num dado momento parecem as mais avançadas, esotéricas e difíceis de compreender, são despidas de significação fora do seu contexto cultural. Uma ciência teórica que não esteja consciente de que os conceitos que tem por pertinentes e importantes são, afinal, destinados a ser expressos em conceitos e palavras com um sentido para a comunidade culta e a se inscrever numa imagem geral do mundo, uma ciência teórica, digo, onde isso fosse esquecido e onde os iniciados continuassem a resmungar em termos compreendidos o melhor possível por um pequeno grupo de parceiros, ficará necessariamente divorciada do resto da humanidade cultural... está votada à atrofia e à ossificação"⁸.

Unia das teses deste livro será a de afirmar a forte interação entre as questões produzidas pela cultura e a evolução conceptual da ciência no seio dessa cultura. Descobriremos no cerne da ciência a insistência de problemas que sabemos que cada geração coloca à sua maneira e aos quais cada uma delas dá a sua resposta, contribuindo assim tanto para a história das ciências como da filosofia. Esperamos fornecer deste modo alguns elementos de reflexão sobre a interação da ciência e da cultura, que reconheça ao mesmo tempo a importância das preocupações culturais — tanto na concepção como na interpretação das teorias — e o caráter específico das coações, teóricas e técnicas, que determinam a fecundidade histórica efetiva dessas preocupações.

Sabe-se que certos filósofos definiram o progresso da ciência em termos de ruptura, de corte e de negação, de ultrapassagem da experiência concreta para uma abstração cada vez mais árida. Segundo a nossa interpretação, apenas traduziam o que foi a situação histórica da ciência clássica: ela negou as questões mais "evidentes" que a experiência das relações dos homens com o

mundo suscita, porque era incapaz de lhes dar um lugar. Mas essa "tradução" filosófica, na medida em que *justificava* uma situação de *fato*, contribuiu para dissimular o que pretendemos descrever aqui: as questões negadas, uma vez declaradas ilegítimas, nem por isso desapareceram; foi, em boa parte, a sua surda insistência que levou à instabilidade do desenvolvimento científico e tornou este último vulnerável a dificuldades à primeira vista menores. Foi o trabalho das questões pela ciência clássica que tornou a nossa ciência capaz duma metamorfose progressiva.

Há, na verdade, um devenir abstrato das teorias científicas — teremos ocasião de falar da purificação progressiva da linguagem da dinâmica. Mas as inovações decisivas na evolução da ciência não são desta ordem. Resultam da incorporação conseguida no *corpus* científico desta ou daquela dimensão nova da realidade. Pensamos, por exemplo, na introdução do conceito de irreversibilidade ou da noção de instabilidade. Veremos que, nos dois casos — e a constatação poderia generalizar-se —, essas inovações respondem à influência do contexto cultural, e até mesmo "ideológico"; ou, melhor dizendo, exprimem a abertura efetiva da ciência ao meio em que se desenvolve.

Afirmar esta abertura é ir ao encontro de uma outra concepção corrente a propósito da ciência. A idéia de que ela evolui libertando-se das exigências recebidas de compreensão dos processos naturais (de que se purifica daquilo que se define como preconceitos ligados ao bom senso preguiçoso para melhor opô-los à "ascese" da razão) desemboca, de fato, na idéia de que ele deve ser obra de comunidades de homens à parte, desprendidos dos interesses mundanos. Daí a conclusão de que a comunidade científica deveria ser protegida em relação às pretensões, necessidades e exigências da sociedade. O progresso científico constituiria um processo de direito autônomo, que toda a influência "externa", todo interesse determinado pela participação do científico em outras atividades culturais ou sociais, ou pela necessidade de obter recursos, não poderia senão perturbar, desviar ou retardar.

Este ideal de abstração, de retirada do científico, funda-se freqüentemente na evolução do que seria um elemento essencial da vocação do "verdadeiro" investigador: seu desejo de escapar às vicissitudes do mundo. Einstein evoca os investigadores que o Anjo de Deus pouparia se recebesse missão de expulsar do Templo da ciência os que, sem dúvida (mas isso não é precisado), são indignos dele: "A maioria dentre eles são indivíduos singulares, fechados, solitários, que, apesar de seus pontos comuns, se assemelham na realidade menos entre si do que os que foram expulsos. O que é que os teria conduzido ao Templo?... um dos motivos mais poderosos que impelem para a arte e a ciência é o desejo de evasão da existência terra-a-terra com todo seu azedume doloroso e seu vazio desesperante, de escapar às cadeias dos desejos individuais eternamente variáveis. Empurra os seres sensíveis para fora da existência pessoal, na direção do mundo da contemplação e do conhecimento objetivo. Esse móbil é comparado ao desejo ardente que atrai o cidadão para fora do seu meio ruidoso e confuso, para as regiões tranquilas das altas

montanhas, onde o olhar desliza ao longe através do ar calmo e puro, acariciando as linhas serenas que parecem criadas para a eternidade. Mas a esse móbil negativo se junta um outro, positivo. O homem procura formar, de qualquer maneira adequada, uma imagem simples e clara do mundo e triunfar assim do mundo do vivido, esforçando-se por substituí-lo em certa medida por aquela imagem"⁹.

A distinção tão claramente estabelecida por Einstein entre a beleza tranqüila da ciência e o turbilhão mesquinho das experiências mundanas pode duplicar-se de uma oposição, esta francamente maniqueísta, entre ciência e sociedade e, mais precisamente, entre criatividade do saber e poder político. Não é mais então no seio de uma comunidade nem num templo que a investigação se deveria realizar, mas numa fortaleza — ou num asilo de alienados, como imagina Dürrenmatt em *Lês Physiciens*: três sábios discutem os meios de fazer progredir a física, preservando todavia os homens das terríveis conseqüências de uma usurpação pelo poder político como resultado desse progresso; a conclusão é finalmente extraída: a única tática é de fato a que um deles escolheu, a de todos continuarem a se fazer passar por loucos e esconderem-se no fundo dum asilo. Recorda-se o fim da peça: a fatalidade prevalece, levando a diretora do asilo a colher os resultados e cabendo-lhe o poder sobre o planeta.

A peça de Dürrenmatt leva-nos a uma terceira concepção da atividade científica, mais popular que filosófica, e que retém uma conseqüência correntemente admitida da idéia de que a ciência progride reduzindo a complexidade do real a uma simplicidade legal oculta. O que o físico Moebius procura dissimular no fundo de um asilo é que resolveu sucessivamente o problema da gravitação, descobriu a teoria unitária das partículas elementares e, finalmente, o Princípio da Descoberta Universal, fonte do poder total. Há nisso, sem dúvida, algum exagero dramático. Contudo, está espalhada a idéia de que no Templo da ciência se busca nada mais nada menos do que a "fórmula" do Universo. O homem de ciência, já representado como um asceta, transforma-se numa espécie de mago, detentor potencial de uma chave universal e, portanto, de um saber todo-poderoso. Voltamos aqui a um tema já abordado: é somente num mundo simples, e singularmente no mundo da ciência clássica, onde a complexidade é apenas aparente, que um saber, qualquer que ele seja, pode constituir uma chave universal ^{lu}.

Um dos problemas da nossa época é posto por este conjunto de concepções que reforçam o isolamento clerical da comunidade científica. Tornou-se urgente estudar as diversas modalidades de integração das atividades científicas na sociedade, as quais fazem com que ela seja pouco ou muito *finalizada*¹¹, que ela não fique indiferente às necessidades e às exigências coletivas.

Acabamos de falar de uma urgência. Os homens começaram, uma vez mais, de maneira irreversível, mas em escala jamais atingida, a perturbar o seu

meio natural. Segundo a expressão de Moscovici¹⁹, uma "nova natureza" se produz através dessa atividade. Mais do que nunca, o futuro depende de nós: povoando o mundo de novas gerações de máquinas e de técnicas, os homens fazem existir de um modo novo uma multitude de processos imbricados. E, para compreender esse mundo cuja criação eles determinam, têm necessidade de todos os instrumentos conceptuais e técnicos que a ciência pode fornecer-lhes. Precisam de uma ciência que não seja nem um simples instrumento submetido a prioridades que lhe seriam exteriores, nem um corpo estranho que se desenvolveria no seio de uma sociedade-substrato sem quaisquer contas a prestar. Tal é o contexto, de abertura e de incerteza, no qual se inscreve o nosso estudo.

Seria de grande ingenuidade dizermos que a metamorfose teórica da ciência que vamos descrever chegará para resolver os problemas que acabamos de evocar. Na mesma medida em que a ciência ocidental não pode ser apontada de responsável pelos problemas mundiais com que hoje nos confrontamos, também não pode ser considerada como fonte de salvação. Contudo, nem por isso, deixamos de pensar que é significativo que nossas teorias científicas sejam hoje capazes de se desprender de limites e pressupostos que pareciam dever eternizar as escolhas de uma cultura passada, que é significativo que elas possam abrir-se a outras abordagens. O mundo finito dos tempos futuros não permitirá à nossa ciência ser estritamente ocidental, e isso na medida em que as reações irracionaisistas que se abonam com a autoridade das "recusas" da ciência são mais perigosas do que nunca. Por outro lado, é preciso esclarecer bem que a racionalidade científica tem muitas vezes servido para caucionar decisões fundadas sobre quaisquer outras considerações. Uma ciência desembaraçada de suas ilusões poderia também ser menos dócil, mais lúcida e mais exigente, quando se trate de "racionalidade científica".

Durante muito tempo, o caráter absoluto dos enunciados científicos foi considerado como um sinal de racionalidade universal; neste caso, a universalidade seria negação e superação de toda particularidade cultural. Pensamos que a nossa ciência se abrirá ao universal logo que cesse de negar, de se pretender estranha às preocupações e interrogações das sociedades no seio das quais se desenvolve, no momento em que for, finalmente, capaz de um diálogo com a natureza, da qual saberá apreciar os múltiplos encantos, e, com os homens de todas as culturas, cujas questões ela saberá no futuro respeitar.

A história que vamos contar é também a da natureza, ao mesmo tempo a das nossas concepções sobre a natureza e a das nossas relações materiais com ela, dos efeitos que nela produzimos e dos processos que aí cultivamos sistematicamente, enchendo-a designadamente de máquinas. Reencontraremos uma natureza autômata, à qual o homem que descreve é tão estranho quanto um relojoeiro ao seu relógio. Veremos, no século XIX, a natureza mecânica se transformar numa natureza matriz, com a angustiante e nova questão do esgotamento dos recursos e do declínio, e também com a

perspectiva rival do progresso — aquele precisamente que permitiu passar do relógio à máquina a fogo.

Onde nos encontramos hoje? Gostaríamos de chamar a este livro "O Tempo Reencontrado", pois a natureza à qual a nossa ciência se dirige hoje não é mais aquela que um tempo invariante e repetitivo chegava para descrever, nem, tampouco, aquela cuja evolução era definida por uma função monótona, crescente e decrescente. Doravante exploramos uma natureza de evoluções múltiplas e divergentes que nos faz pensar não num tempo à custa dos outros mas na coexistência de tempos irredutível mente diferentes e articulados. Trata-se de duas posições que se afrontam: Newton nos *Principia*: "O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, em si mesmo e por sua própria natureza, decorre uniformemente sem relação a algo exterior e, com outro nome, é chamado de Duração". Bergson, em *L'Évolution créatrice*: "O Universo dura. Quanto mais nos aprofundarmos sobre a natureza do tempo, melhor compreenderemos que duração significa invenção, criação de formas, elaboração contínua do absolutamente novo". Doravante, essas duas dimensões se articulam em vez de se excluïrem. O tempo hoje reencontrado é também o tempo que não fala mais de solidão, mas sim da aliança do homem com a natureza que ele descreve.

Capítulo I O PROJETO DA CIÊNCIA MODERNA

1. *O novo Moisés*

*Nature and Nature's laws lay hid in night:
God saia, let Newton be! and ali was light '•'.*

A. Pope

(Projeto de epitáfio para Isaac Newton, morto em 1727.)

O tom enfático de Pope não nos deve admirar. Aos olhos da Inglaterra do século XVIII, Newton é o novo Moisés a quem as "tábuas da lei" foram reveladas. Poetas, arquitetos, escultores e outros artistas concorrem a projetos de monumentos. Toda uma nação se congrega para comemorar o acontecimento de um homem que descobriu a linguagem que a natureza fala — e à qual ela obedece.

*"Nature, compelled, his piercing Mind obeys,
And Gladly shows him ali her secret Ways;
'Gainst Matkematics ske has no Defence,
And yields t'experimental Consequence^N."*

A moral e a política encontram no episódio newtoniano matéria para "fundamentar" a sua argumentação. É assim que, no "Espírito das Leis", o reverendo Desaguliers transpõe o sentido literal da nova ordem natural. A monarquia constitucional é o melhor dos regimes. Nele o rei, tal como o sol, vê o seu poder limitado.

*"Like Ministers attending ev'ry Glance
Six Worlds sweep round his Throne in Mystick Dance.
He turns their Motion from his Devious Course,
And bend their Orbits by Attractive Force:
His Pow'r coerc'd by Laws, stiit leave them free,
Directs, but not Destroys, their Liberty "."*

O próprio Newton, não se aventurando assim no domínio das ciências morais, não hesitou em sustentar a universalidade em física das leis expostas nos *Principia*. A natureza é "muito conforme a si mesma", afirma ele na famosa Questão 31 da *Óptica*, e esta elipse vigorosa encobre uma pretensão hiperbólica: combustão, fermentação, calor, coesão, magnetismo..., não existe processo natural que não seja produzido por forças ativas, atração e repulsão, que regulam o curso dos astros e a queda dos corpos.

Herói nacional mesmo antes da sua morte, Newton torna-se, cerca de um século mais tarde, o símbolo da revolução científica europeia, designadamente sob a influência da poderosa escola de Laplace. Os astrónomos perscrutaram o céu, onde a partir de então a matemática dita leis e predições. Fato absolutamente extraordinário, o sistema newtoniano triunfou de todos os obstáculos; mais ainda, deixava a porta aberta a desenvolvimentos matemáticos que permitiram achar desvios aparentes e mesmo, num caso célebre, inferir desses desvios a presença de um corpo celeste até então desconhecido. Neste sentido, pode dizer-se que a "descoberta" de um novo planeta, Netuno, consagrava a força profética da visão newtoniana, enquanto Laplace lhe desenvolvia o poder sistemático.

No dealbar do século XIX, o nome de Newton tende a congregar tudo o que, descoberto ou em via disso, tem valor de modelo para as ciências. Mas, curiosamente, nessa época o método sofre interpretações divergentes.

Antes de tudo, alguns têm a idéia dum protocolo de experiência matematizável. Para eles, a química teve o seu Newton em Lavoisier, que consagrou o uso sistemático da balança e definiu uma química quantitativa como estudo dos balanços invariantes de massa durante as transformações da matéria.

Para outros, a estratégia newtoniana consiste em, diante de um conjunto de fenômenos, isolar um fato central, irreduzível e específico, do qual tudo se poderá deduzir. Segundo esta interpretação, a exemplo de Newton, cujo traço de gênio é precisamente o de ter renunciado a explicar a força da atração, cada disciplina adotará como ponto de partida um fato desse tipo, inexplicado e base de toda a explicação. A partir de então, os médicos se sentiram autorizados por Newton a revestir da linguagem moderna o discurso vitalista e a falar de uma força vital *sui generis*. É o mesmo papel que foi chamada a desempenhar em química a afinidade, força de interação específica, irreduzível às leis do movimento das massas.

Alguns "verdadeiros newtonianos" se indignam e afirmam a universalidade do poder explicativo da gravitação. Mas é demasiado tarde. Doravante é newtoniano tudo o que trata de sistema de leis, de equilíbrio, tudo o que reativa os mitos da harmonia onde podem comunicar a ordem natural, a ordem moral, social e política. O sucesso newtoniano reúne desde então os mais diversos projetos. Certos filósofos românticos da natureza descobrem no mundo newtoniano um universo encantado, animado pelas forças mais diversas. Os físicos mais "ortodoxos" vêem nele um mundo mecânico e matematizável regido por uma força universal. Para os positivistas é o êxito de um procedimento.

O resto é literatura — muitas vezes newtoniana: a harmonia que reina na sociedade dos astros, as antipatias e as afinidades que produzem a vida social dos compostos químicos, todos esses processos vêem seus efeitos reproduzidos, deslocados, amplificados no universo assim remoçado das sociedades humanas¹⁶.

O que de extraordinário se disse acerca dessa época da idade de ouro da ciência?

Ainda hoje a ciência newtoniana representa um sucesso exemplar. Os conceitos dinâmicos que introduziu constituem uma aquisição definitiva que transformação alguma da ciência poderá ignorar. Contudo, a idade de ouro da ciência clássica, como bem o sabemos, passou e, ao mesmo tempo, dissipou-se a idéia de que a racionalidade newtoniana — cujas diversas interpretações doravante se afrontam abertamente — pode ser suficiente para unificar o conhecimento.

A história que este livro narra é, antes de tudo, a do triunfo newtoniano: da descoberta, até os nossos dias, de domínios sempre novos que prolongam o pensamento newtoniano. Mas é também a história da divulgação dos limites dessa ciência, das dificuldades e dúvidas que ela suscitou, e das tentativas de minorar essas insuficiências ou de pensar uma outra ciência. Pode-se dizer que há cerca de cento e cinquenta anos andamos à procura de uma nova concepção coerente do empreendimento científico e da natureza que a ciência descreve. Vamos dizer aqui como essa nova concepção emana do desenvolvimento recente da ciência e constitui hoje a promessa, até mesmo a realidade, de uma metamorfose da ciência.

2. O Mundo Desencantado

*"... May God us Keep From Single Vision
and Newton's \$ Sieep!"*

William Blake (em carta a Thomas Butts, 22 de novembro de 1802¹⁷.)

Para ilustrar o caráter instável da síntese científica e cultural realizada pela ciência newtoniana, escolhemos voltar de repente à nossa época, ou seja, por exemplo, à seguinte introdução ao colóquio da Unesco consagrado às relações entre ciência e cultura: "Há mais de um século que o setor da atividade científica conheceu um crescimento tal, no interior do espaço cultural ambiente, que parece substituir-se à cultura em seu conjunto. Para alguns, não haveria nisso mais do que uma ilusão produzida pela velocidade desse crescimento, mas as linhas de força dessa cultura não tardariam a surgir de novo a fim de pô-la a serviço do homem. Para outros, esse triunfo recente da ciência confere-lhe, enfim, o direito de orientar o conjunto da cultura que, aliás, só mereceria o seu título, na medida em que se deixasse difundir através do aparelho científico. Outros, finalmente, assustados pela manipulação a que o homem e as sociedades estão expostos ao caírem sob o poder da ciência, vêm aí se perfilar o espectro da derrota cultural"¹⁸.

A ciência aparece, nesse texto, como um corpo estranho no interior da cultura, um corpo cujo crescimento canceroso ameaça destruir o conjunto da vida cultural; a questão, de vida ou de morte, é de dominar a ciência, de lhe

dominar o desenvolvimento, ou de se deixar subjugar, aniquilar por ela. Em cerca de cento e cinquenta anos, de fonte de inspiração, a ciência se transformou em ameaça. E não somente em ameaça para a vida material dos homens, mas, mais insidiosamente ainda, em ameaça de destruição dos saberes, das tradições, das experiências mais enraizadas da memória cultural: não é este ou aquele retrocesso técnico de um resultado científico, mas o próprio "espírito científico" que é acusado.

Quer sejam postos em causa um cepticismo global segregado pela cultura científica ou as conclusões concretas das diversas teorias científicas, está hoje espalhada a afirmação: a ciência desencanta o mundo; tudo o que ela descreve se encontra irremediavelmente reduzido a um caso de aplicação de leis gerais desprovidas de interesse particular. O que, para gerações preservadas, havia sido uma fonte de alegria ou de admiração, seca à sua aproximação.

É interessante constatar que esse suposto efeito do progresso científico constitui uma tese sustentada não somente por muitos daqueles que criticam a ciência, mas também pelos que a defendem ou a glorificam. A este propósito, escolhemos como típica a conclusão aplicada por Jacques Monod à sua análise das conseqüências filosóficas da biologia moderna: "É preciso que o homem acorde, enfim, do seu sonho milenário para descobrir sua total solidão, sua radical estranheza. Agora sabe que, como um cigano, está à margem do universo onde deve viver. Universo surdo à sua música, indiferente tanto às suas esperanças como aos seus sofrimentos ou crimes"¹³.

A exortação de Monod, que pressiona o "homem" a assumir seu destino de solidão e a renunciar às ilusões onde se refugiaram as sociedades tradicionais, leva, de forma típica, a identificar a ciência ocidental, tal qual ela se desenvolveu de alguns séculos para cá, com uma racionalidade que transcende todas as culturas e todas as épocas. O desenvolvimento científico vai dar assim numa verdadeira escolha metafísica, trágica e abstrata; o "homem" deve escolher entre a tentação, tranquilizante mas irracional, de buscar na natureza a garantia dos valores humanos, a manifestação de uma dependência essencial e a fidelidade a uma racionalidade que o deixa só num mundo mudo e estúpido.

Um outro tema mistura seus ecos ao do desencanto; é o da dominação: o mundo desencantado é, ao mesmo tempo, um mundo manejável. Se a ciência concebe o mundo como submetido a um esquema teórico universal que reduz suas diversas riquezas às melancólicas aplicações de leis gerais, ela se dá da mesma forma como instrumento de controle e de dominação. O homem, estranho ao mundo, se apresenta como senhor desse mundo.

Figuram aqui as teses, mais do que perigosas, de Heidegger. O projeto científico realiza o que se anunciava desde a alvorada grega: a vontade de poder que ocultaria toda a racionalidade. A usurpação científica e técnica que, segundo Heidegger, se desencadeia hoje à escala planetária, revela a violência oculta de todo saber, positivo e comunicável.

Usurpação técnica: Heidegger não pretende recusar esta ou aquela realização em particular; ele interroga a essência da técnica, a dimensão técnica da inserção humana na natureza. Não é o fato de a poluição industrial pôr em perigo a vida animal no Reno que o inquieta, mas o de este ser posto a serviço do homem mediante um cálculo: "A central elétrica é instalada na corrente do Reno. Ela obriga-o a fornecer sua pressão hidráulica que, por sua vez, obriga as turbinas a girar... A central não foi construída na corrente do Reno como a velha ponte de madeira que há séculos liga as duas margens. Bem ao contrário, é antes a corrente que está encerrada na central. O que ela é hoje como corrente, a saber, fornecedora de pressão hidráulica, é-o por conta da maneira de ser da central"²⁰.

Usurpação científica: Heidegger não se preocupa mais em especial com qualquer teoria do que com um problema técnico particular; cada uma delas constitui um momento do início do projeto global que acompanha e constitui a história do Ocidente. O homem de ciência, a exemplo do técnico, é a sede de uma vontade de poder disfarçada em apetite de saber; a sua aproximação das coisas é uma violência sistemática. Na mira teórica que define a ciência, Heidegger vê uma interpelação das coisas que as reduz a objetos dominados, oferecidos à dominação do olhar: "A física moderna não é uma física experimental porque dispõe de aparelhos para interrogar a natureza. É o contrário: porque a física — e isto já como pura teoria — íntima a natureza a se mostrar como um complexo calculável e predizível de forças é que a experimentação é obrigada a interrogá-la, a fim de que se saiba se e como a natureza assim intimada responde ao chamamento"²¹.

Esta hostilidade radical visa tanto ao trabalho técnico como todo saber comunicável; a velha ponte sobre o Reno agrada não como testemunho duma habilidade provada, duma observação laboriosa e precisa, mas porque deixa correr as águas do Reno. As sensacionais revelações de Bergier e Pauwels em *Lê Matin des Magiciens* estão imbuídas, por sua vez, dum menosprezo declarado tanto pela ciência oficial, tida como trivial e sufocante, quanto pela idêntica trivialidade das preocupações quotidianas da maioria dos homens. Em contrapartida, é anunciada uma realidade "distinta", uma ciência cheia de mistérios, reservada aos iniciados e que reata com as práticas esotéricas dos alquimistas, taumaturgos e outros mágicos. "Enquanto milhões de civilizados abrem livros, vão ao cinema ou ao teatro para saber como Françoise se emociona com René mas, odiando a amante do pai, se torna lésbica por surda vingança, investigadores que fazem cantar aos números uma música celeste se interrogam se o espaço não se contrai em redor de um veículo."²³

Cientismo triunfante, dir-se-á, a ciência é a partir de agora senhora dos destinos da humanidade, conduz o mundo para um futuro desconhecido e inimaginável: "Se tivesse que refazer minha vida, certamente não escolheria ser escritor e ver meus dias passarem numa sociedade retardatária onde a aventura dorme sob os leitos, como um cão. Eu precisaria de uma aventura-leão. Far-me-ia físico teórico, para viver no coração ardente do romanesco verdadeiro"²³.

Essa "aventura-leão" não é, entretanto, dos esforços laboriosos e públicos das comunidades científicas. A ciência que nos é revelada é uma ciência produzida por intuições inumanas quase-mutantes e não pela discussão crítica e pelo lento trabalho experimental, transmitida mais no segredo que nas revistas e nos colóquios científicos. O que Bergier e Pauwels e depois, mais recentemente, Ruyer²⁴ nos convidam a refletir é que as preocupações dos homens "médios" e os conhecimentos assentes no eixo dessas preocupações pertencem a um mundo ultrapassado, de cujos logros ficamos sendo vítimas. Segundo eles, a aventura está algures, no infinitamente grande e no infinitamente pequeno. Se acredita em Bergier e Pauwels, o "homem comum" o mais que pode esperar é que certos iniciados desdenharão estudar um dia os problemas triviais da organização das nossas sociedades, pulverizando as teorias poeirentas das ciências humanas para com as quais nenhum desprezo é demasiado. Talvez, insinua-se, isso já ocorreu e, sem que o saibamos, o nosso futuro já foi determinado por um número reduzido de homens que "sabem".

Essa mística duma ciência esotérica, de "um mundo em que os ciclotrons são como as catedrais, as matemáticas como um canto gregoriano, as transmutações se operam não somente no seio da matéria, mas nos cérebros"²⁵, anuncia uma "cruzada" em direção ao futuro, cruzada essa que, no contexto atual, é tão perigosa como a recusa da ciência ou a exaltação das míticas auroras gregas. Nossa época se confronta com cruciais problemas materiais e técnicos. Sabemos que a gestão das nossas sociedades depende cada vez mais de um bom uso da ciência e da técnica. Nessas condições, um pouco de lucidez não será demais: nem para os cientistas, em face das necessidades e exigências socialmente expressas, nem para os cidadãos, para as possibilidades reais dos seus respectivos saberes. A fuga para o mito duma ciência misteriosa e todopoderosa não pode senão contribuir para mascarar a dificuldade real dos problemas postos pela história.

Há um outro tipo de crítica a propósito da ciência que devemos reconhecer pertinente. Citaremos aqui, como exemplo, a conclusão de Koyré no seu estudo sobre o alcance da síntese newtoniana: "Contudo, há qualquer coisa de que Newton deve ser tido como responsável, ou melhor dizendo, não somente Newton, mas a ciência moderna em geral: é a divisão do nosso mundo em dois. Disse eu que a ciência moderna tinha derrubado as barreiras que separavam os Céus e a Terra, que une e unificou o Universo. Isto é verdade. Mas, disse-o também, ela fê-lo substituindo o nosso mundo de qualidades e percepções sensíveis, mundo no qual vivemos, amamos e morremos, por um outro mundo: o da quantidade, da geometria deificada, no qual há lugar para tudo menos para o homem. Assim, o mundo da ciência — o mundo real — se afastou e se separou inteiramente do mundo da vida, que a ciência foi incapaz de explicar — mesmo com uma explicação dissolvente que lhe desse uma aparência "subjativa".

"Na realidade, estes dois mundos estão sempre — e cada vez mais — unidos pela práxis. Mas, teoricamente, estão separados por um abismo.

É nisto que consiste a tragédia do espírito moderno que desvendou o enigma do Universo, mas apenas para substituí-lo por um outro: o enigma de si próprio"²⁶.

A crítica de Koyré abre uma nova perspectiva: não estamos mais reduzidos à alternativa entre uma ciência que faria do homem um estranho num mundo desencantado e um protesto anticientífico, talvez mesmo anti-racional.

É nessa perspectiva que nos situamos. Queremos demonstrar que nossa ciência não é mais a ciência clássica que Koyré critica e isso, não porque seus novos objetos fossem estranhos, como pensam Bergier e Pauwels, mais próxima da magia do que do pensamento comum, mas porque, a partir de agora, é capaz de compreender e descrever, pelo menos parcialmente, os processos complexos que constituem *o mais familiar* dos mundos, o mundo natural onde evoluem os seres vivos e suas sociedades.

Retrospectivamente, podemos compreender melhor a que ponto a ciência clássica se encontrava incapaz de entender o devenir natural, de sorte que as extrapolações que tentava a partir de suas teorias deviam fatalmente conduzir à negação, em particular, da possibilidade de evoluções criadoras de novidade e complexidade. Iremos explorar a força e a fraqueza da ciência newtoniana, a coerência da sua armadura conceptual e suas lacunas. A nossa exposição terá seu eixo no problema do tempo, que constitui o ponto acerca do qual se põe melhor em evidência a dimensão negadora da ciência "newtoniana". O tempo, associado ao devenir biológico ou à evolução das sociedades *não é o mesmo* que o que descreve o movimento dos planetas, ou do pêndulo ideal; isto é uma quase-evidência. Ora, a ciência newtoniana encontra-se impossibilitada de integrar esta idéia fundamental; e, por outro lado, foi em torno dos temas da irreversibilidade, do processo de organização e da inovação que se desenvolveram as teorias que nos permitem falar hoje de uma metamorfose da ciência.

Uma das perspectivas mais prometedoras abertas por essa metamorfose é o fim da ruptura cultural que faz da ciência um *corpo estranho* e lhe dá as aparências duma fatalidade a assumir ou duma ameaça a combater. Queremos mostrar que as ciências matemáticas da natureza, no momento em que descobrem os problemas da complexidade e do devenir, se tornam igualmente capazes de compreender algo do significado de certas questões expressas pelos mitos, religiões e filosofias; capazes também de melhor avaliar a natureza dos problemas próprios das ciências cujo objeto é o homem e as sociedades humanas.

Um processo cultural novo, a constituição de uma "terceira cultura" (para retomar a expressão de Snow, que assinalava seu nascimento num suplemento

à sua obra sobre a ruptura cultural da nossa época -⁷), poderia desde logo tomar certa importância. Uma terceira cultura, quer dizer, um meio onde possa encetar-se o indispensável diálogo entre o procedimento de modelização matemática e a experiência conceitual e prática dos economistas, biólogos, sociólogos, demógrafos e médicos, que tentam descrever a sociedade humana na sua complexidade. Que um tal meio intelectual possa desenvolver-se — e um obstáculo maior a esse desenvolvimento se encontra erigido pelo tato de que as ciências físicas têm os meios de reconhecer a validade dos problemas que ocupam os especialistas de outras ciências — condiciona, sem dúvida alguma, a utilização dos nossos recursos conceptuais e técnicos na crise contemporânea.

3. A *Síntese Newtoniana*

Como explicar o entusiasmo dos contemporâneos de Xewton, sua convicção de que, finalmente, o segredo do mundo, a verdade da natureza haviam sido revelados?

Tal como exprimem os versos de Desaguliers, o triunfo newtoniano estabelece a seus olhos o êxito da síntese original tentada pela ciência moderna entre diversas preocupações presentes, ao que parece, em todas as civilizações humanas: ela mostra que a natureza não pode resistir ao processo experimental, fruto da aliança nova entre *teoria e prática* de manipulação e de transformação.

A ciência newtoniana é uma ciência *prática*, uma das suas fontes é muito claramente o saber dos artesãos da Idade Média e dos construtores de máquinas; ao menos em princípio, ela própria fornece os meios de agir no mundo, de prever e modificar o curso de certos processos, de conceber dispositivos próprios para utilizar e explorar certas forças e recursos materiais da natureza.

Neste sentido, a ciência moderna prolonga o esforço milenário das nossas sociedades para organizar e utilizar o mundo. Sabemos pouco da pré-história desses esforços; entretanto, podemos avaliar retrospectivamente a soma de conhecimentos e habilidade que necessita, a que foi chamada de revolução neolítica. Caçador-coletor, o homem aprendia a administrar certo domínio do meio natural e social, graças a novas técnicas de exploração da natureza e de estruturação da sociedade.

Vivemos ainda de técnicas neolíticas — espécies animais e vegetais criadas ou selecionadas, tecelagem, cerâmica, trabalho dos metais. Nossa organização social contentou-se, durante muito tempo, com as mesmas técnicas de escritura, geometria e aritmética que foram necessárias para organizar os grupos sociais diferenciados e hierarquicamente estruturados das cidades-estado neolíticas-".

Temos de admitir igualmente que o desenvolvimento dessas técnicas

supõe, durante a idade neolítica e os milênios que a precedem, o empenho de uma atividade de exploração dos recursos naturais e de busca empírica de métodos de utilização desses recursos; o que prova a existência não somente de indivíduos cujo espírito de observação e invenção valeria bem o dos grandes homens da nossa história intelectual, mas também de sociedades capazes de suscitar, acolher, conservar e aperfeiçoar a obra desses inovadores.

A ciência moderna prolonga esse esforço antigo, amplifica-o e lhe confere um ritmo acelerado. Mas o projeto de utilização do meio não esgota o significado da ciência no sentido que a revolução newtoniana lhe deu, nem tampouco o do *pensamento selvagem*.

Encontram-se em qualquer sociedade humana habilidades e técnicas, bem como um conjunto de relatos, que parecem explicar ou interpretar a organização do mundo e a situação da sociedade humana no seio da natureza. Tal como os mitos e as cosmologias, a ciência parece tentar *compreender* a natureza do mundo, a maneira como se organizou e o lugar que os homens nele ocupam.

Contudo, o pensamento científico afasta-se, num ponto decisivo, da interrogação mitológica por ele retomada. Ele proclamou sua submissão aos processos da verificação e discussão crítica-"¹. E preciso, no entanto, não esquecer que essa declaração de intenções caracteriza toda forma de pensamento crítico; e nós sabemos que Demócrito ou Aristóteles não dependem da ciência moderna, seja qual for sua aptidão para discernir, por constatação e discussão, o verdadeiro do falso. Teremos que distinguir, pois, cuidadosamente, o pensamento crítico em geral e a singularidade que se introduz em nosso mundo sob as espécies da "ciência moderna".

Pouco importa que as primeiras especulações dos pensadores pré-socráticos se desenrolem num espaço semelhante ao do mito da criação hesiódica: polarização inicial do céu e da terra, fecundada pelo desejo despertado pelo amor; nascimento da primeira geração de deuses, potências cósmicas diferenciadas; combates e desordens, ciclo de atrocidades e vinganças, até à estabilização final: a repartição dos poderes na submissão à Justiça (*dikê*). Subsiste o fato de quê, no espaço de algumas gerações, os pré-socráticos vão passar em revista — explorar e criticar — alguns dos principais conceitos que a nossa ciência redescobriu, e que nós tentamos ainda articular para pensarmos as relações entre o ser, eterno e imutável, e o devenir, ou para compreendermos a gênese do que existe a partir de um meio inditerenciado¹.

Por que razão o homogêneo é instável e se diferencia? As coisas, frágeis e mortais, constituirão outras tantas injustiças e desequilíbrios que infringem a relação de forças que regula o enfrentamento entre potências naturais? Ou então o motor das coisas lhes é exterior: ações rivais do amor e da luta que determinam nascimento, desenvolvimento, declínio e dispersão.⁻¹ Será a mudança ilusória, ou é a luta moirix dos opostos que constitui as coisas? Poderão as alterações qualitativas ser reduzidas aos movimentos no va/ío das

configurações de átomos, ou então serão estes uma multiude de germes qualitativamente diferentes, nenhum dos quais se parece com os outros? Será matemática a harmonia do mundo? Serão os números que dão a chave da natureza?

A ciência numérica dos sons elaborada pelos pitagóricos ainda pertence às nossas teorias acústicas. Quanto às teorias matemáticas desenvolvidas pelos gregos, constituem na história européia a primeira teoria abstrata e rigorosa cujos resultados se apresentam como comunicáveis e restituíveis por todo o ser dotado de razão, cujas demonstrações — quer estabeleçam a verdade ou o erro das teses — têm um grau de certeza independente das convicções, das expectativas e das paixões.

Pouco sabemos acerca dessa filosofia das cidades da jônia e da Magna Grécia, bem como sobre as relações entre o desenvolvimento das hipóteses teóricas e a atividade artesanal e técnica florescentes dessas cidades. Diz-se que, como efeito de uma reação religiosa e social hostil, certos filósofos foram acusados de ateísmo, expulsos ou mortos. Essa história de "pôr as coisas em ordem" realça a importância dos temas do testemunho e do risco — do martírio — nos relatos sobre a gênese e amplificação das inovações conceituais. Explicar o sucesso da ciência moderna será *também* explicar a razão por que os práticos da ciência moderna não foram perseguidos de forma maciça, nem a sua abordagem teórica abafada em proveito de uma organização sistemática do saber segundo categorias conformes às expectativas coletivas.

Em todo o caso, na época de Platão e de Aristóteles, limites são estabelecidos e o pensamento canalizado em direções socialmente aceitáveis. A distinção entre *pensamento teórico* e *atividade técnica* é especialmente fixada. As expressões que hoje empregamos, como máquina, mecânica e engenheiro, têm uma história etimológica análoga: não se trata de saber racional, mas de manha e de artifício; não se trata simplesmente de *conhecer* os processos naturais, mas de enganar a natureza, de *maquinar* alguma coisa, conseguir maravilhas, a criação de efeitos alheios à ordem natural. A heterogeneidade entre o campo da manipulação prática e o do conhecimento racional da natureza é impressionante: Arquimedes não terá ido além de matemático, engenheiro; sua análise matemática do equilíbrio das máquinas não é considerada como transferível ao mundo da natureza, pelo menos no quadro da física antiga tradicional.

Outra heterogeneidade firmemente estabelecida: a do céu e da terra, do mundo imutável e eterno dos astros, bem como do mundo sublunar onde todas as coisas são mutáveis, mortais, sujeitas às paixões e à corrupção. Um dos traços mais gerais que o estudo comparado das religiões propôs ler nas sociedades antigas é a divisão entre espaço profano e espaço sagrado; o espaço ordinário, submetido ao acaso, à degradação, insignificante, é separado do mundo sagrado, significante, subtraído à contingência e à história. E o mesmo contraste que Aristóteles supõe entre o inundo dos astros e o da natureza

terrestre. Esse contraste reencontra-se na avaliação das possibilidades de aplicar as matemáticas à descrição do mundo. Por não ser o movimento dos astros uma mudança, mas um estado perfeito e eternamente igual a si mesmo, pode ser descrito (sem por isso ser explicado) pelas matemáticas. Mas, no que concerne ao mundo sublunar, a descrição matemática não é pertinente. Abstração feita de sua irredutível particularidade, os processos naturais, intrinsecamente imprecisos, não podem, por seu turno, constituir objeto de descrições matemáticas a não ser aproximativas.

Para Aristóteles, a questão com interesse não é tanto a de saber *como* se produz um processo, mas *por que* se produz — ou antes, estas duas questões não podem ser separadas. Voltaremos à idéia de que uma das fontes do pensamento aristotélico foi a observação do desenvolvimento dos embriões, processo organizado no decurso do qual os acontecimentos se encadeiam e se correspondem, apesar da sua aparente independência, e participam dum processo de conjunto que parece obedecer a um plano global. A exemplo do desenvolvimento embrionário, toda a natureza aristoteliana é organizada segundo causas finais que dão também a chave da inteligibilidade. As mudanças, se correspondem à *natureza* das coisas, têm como razão realizar cada ser na perfeição de sua *essência* inteligível. É, portanto, essa essência — que, para os seres vivos, é simultaneamente causa final, formal e eficiente — que se trata de compreender.

Uma das leituras possíveis do que se chama de nascimento da ciência moderna faz da confrontação entre os aristotélicos e Galileu uma contraposição entre duas racionalidades centralizadas, uma sobre o mundo sublunar (o mundo organizado dos vivos), e a outra, sobre o mundo dos astros e das máquinas, associados por este ponto decisivo de serem ambos matematizáveis. Neste caso, era de fato um confronto sem remédio, já que cada um devia definir de maneira diferente o que na natureza é significativo, e o que constitui um efeito secundário, até mesmo uma ilusão³¹.

Para Galileu, a questão "por que", prioritária para os aristotélicos, deve ser excluída da ciência. Em contrapartida, estes últimos *deviam* atribuir a um fanatismo irracional o tipo de relação mantida por Galileu com o saber empírico dos engenheiros: o modo de interrogação experimental.

4. *O Diálogo Experimental*

Chegamos assim ao que para nós constitui a singularidade da ciência moderna: o encontro entre a técnica e a teoria, aliança sistemática entre a ambição de modelar o mundo e a de compreendê-lo.

Para que um tal encontro seja possível, não bastava, contrariamente ao que alguns empiristas quiseram crer, uma relação de *respeito* para com os fatos observáveis. Sobre certos pontos, incluindo a descrição dos movimentos mecânicos, era realmente a física tradicional que se submetia com mais fidelidade à evidência empírica^{*2}. O diálogo experimental com a natureza, que

a ciência moderna se revela capaz de conduzir de forma sistemática, não supõe uma observação passiva, mas uma *prática*. Trata-se de manipular, de apresentar a realidade física até lhe conferir uma proximidade máxima em relação a uma descrição teórica. Trata-se de preparar o fenômeno estudado, de o purificar, de o isolar até parecer uma *situação ideal*, fisicamente irrealizável, mas inteligível por excelência, pois encarna a hipótese teórica que guia a manipulação. A relação entre experiência e teoria provém, portanto, do fato de a experimentação submeter os processos naturais a uma interrogação que não adquire sentido senão quando referida a uma hipótese concernente aos princípios aos quais esses processos são sujeitos, e a um conjunto de pressupostos respeitantes a comportamentos que seria absurdo atribuir à natureza.

Tomemos o exemplo da descrição do funcionamento de um sistema de roldanas, clássico desde Aristóteles, generalizado pelos modernos ao conjunto das máquinas simples. Neste caso, é notável que a explicação moderna elimine, como perturbação secundária, o que precisamente a física aristotélica queria explicar: o fato de que, cenário típico, a pedra "resiste" ao cavalo que a puxa e de que esta resistência possa ser "vencida" se a tração se fizer por intermédio dum sistema de roldanas. Segundo o princípio em função do qual Galileu julga a natureza, esta não dá presentes, não dá nada gratuitamente, e é impossível iludi-la; é absurdo pensar que se possa fazê-la produzir pela astúcia e pelo artifício um trabalho *suplementar*^{3*}. Dado que o trabalho do cavalo é o mesmo, com ou sem roldanas, *deve* produzir o mesmo efeito. Tal será o ponto de partida para a explicação mecânica nova. Esta refere-se a um mundo ideal onde o efeito "novo" (a pedra finalmente posta em movimento) é *secundário* e a "resistência" da pedra é explicada pela fricção que produz um aquecimento. O que, ao contrário, passa a ser descrito com precisão é a situação ideal em que uma relação de equivalência une a causa, o trabalho do cavalo, e o efeito, a deslocação da pedra. Nesse mundo ideal, *o cavalo pode, de qualquer maneira, deslocar a pedra*, e o sistema de roldanas tem como único resultado o de modificar o modo de transmissão dos esforços de tração: em vez de deslocar a pedra no mesmo comprimento L em que ele próprio se desloca puxando a corda, o cavalo não a desloca senão num comprimento L/n , onde n depende do número de roldanas. Estas, como todas as máquinas simples, não são mais que um dispositivo passivo, capaz somente de transmitir o movimento, e não de produzi-lo.

O diálogo experimental constitui um procedimento muito particular. A experimentação interroga a natureza, mas à maneira de um juiz, em nome de princípios postulados. A resposta da natureza é registrada com a maior precisão, mas a sua pertinência é avaliada em referência à idealização hipotética que guia a experiência: tudo mais é conversa, efeitos secundários despiciendos. Claro que a natureza pode refutar a hipótese teórica em questão, mas esta nem por isso deixa de constituir o estalão que mede o alcance e o sentido da resposta, seja ela qual for. O procedimento experimen-

tal constitui, portanto, uma *arte*, quer dizer, repousa sobre uma habilidade e não sobre regras gerais e, por este fato, se encontra sem garantia, exposto à trivialidade e à cegueira: nenhum método pode anular o risco de perseverar, por exemplo, numa interrogação sem pertinência. Arte de eleição, de discernimento progressivo, de exame exaustivo de todas as possibilidades de respostas da natureza numa situação determinada, a arte experimental consiste em escolher um problema para formular uma hipótese teórica e em reconhecer na complexidade proliferante da natureza um fenômeno suscetível de encarnar as consequências desse decreto geral; trata-se, então, de apresentar o fenômeno escolhido até que se possa decidir de forma comunicável e reproduzível se esse fenômeno é decifrável ou não, segundo o texto matemático particular que a hipótese enunciou.

Criticado desde sua origem, minimizado pelas descrições empiristas da atividade científica, atacado como tortura, submetido aos maus-tratos da natureza, inspeção violenta, o processo experimental mantém-se através das modificações do conteúdo teórico das descrições científicas e define o novo modo de exploração utilizado pela ciência moderna. Ainda hoje são "experiências de pensamento", apresentações imaginárias de situações experimentais, inteiramente regidas por princípios teóricos, que permitiram explorar as consequências das perturbações conceptuais da física contemporânea: a relatividade, a mecânica quântica. Assim, esse famoso trem de Einstein, donde um observador pode medir a velocidade de propagação de um raio de luz emitido ao longo de um "talude", quer dizer, deslocando-se a uma velocidade c num sistema de referências em relação ao qual ele, o trem, desloca-se à velocidade v . Clássica mente, o observador embarcado no trem deveria atribuir à luz que se desloca no mesmo sentido que ele uma velocidade $c-v$; mas esta conclusão clássica constitui precisamente o novo absurdo teórico que é colocado em evidência pela experiência de pensamento para isso concebida; de fato, a velocidade da luz aparece doravante como uma *constante universal* nas leis da física; para evitar que essas leis, e com elas o comportamento físico dos corpos, variem com o movimento destes, é preciso modificar o princípio clássico de adição das velocidades, afirmar, no que concerne à luz, que qualquer que seja o sistema de referência donde se observe, se medirá sempre a mesma velocidade, c ; e o trem de Einstein poderá, desde então, percorrer as consequências físicas dessa modificação fundamental.

O procedimento experimental define o conjunto dos diálogos com a natureza, tentados pela ciência moderna; ele fundamenta a originalidade desta ciência, sua especificidade e seus limites. Claro que é uma natureza simplificada, preparada, às vezes mutilada em função da hipótese preliminar que a experimentação interroga; isso não impede que, em geral, conserve os meios de desmentir a, maior parte das hipóteses. Einstein fazia notar que a natureza responde na maioria das vezes às questões que se lhe põem com um *não*, e, às vezes, *quicá*. O homem de ciência não faz, portanto, tudo o que quer, não obriga a natureza a dizer o que ele pretende; não pode, pelo menos a

termo, projetar sobre ela não importa qual dos seus desejos e esperanças mais caras. O homem de ciência, de fato, assume riscos tanto maiores quanto a sua tática julga melhor cercar a natureza, mais precisamente, encosta-a à parede³⁴. É certo que, como sublinham os críticos, quer ela diga sim ou não, a natureza é sempre compelida a confirmar a linguagem teórica na qual lhe falam. Mas essa própria linguagem evolui segundo uma história complexa onde intervém ao mesmo tempo o balanço das respostas obtidas da natureza, a relação às outras linguagens teóricas e também a exigência que renasce sem cessar sob novas formas, em novas questões, de compreender a natureza segundo o que cada época define como pertinente. Relação complexa entre as regras específicas do jogo científico — e em particular o modo experimental de diálogo com a natureza, que constitui uma coação maior desse jogo — e uma cultura à qual, mesmo sem o saber, o homem de ciência pertence, que influencia suas perguntas e que marca em troca, as respostas por ele transcritas.

O protocolo do diálogo experimental representa para nós uma aquisição irreversível. Ele garante que a natureza interrogada pelo homem será tratada como um ser *independente*, que sem dúvida se força a se exprimir numa linguagem talvez inadequada, mas a quem os procedimentos interdizem emprestar as palavras que se gostaria de ouvir. Fundamenta também o caráter comunicável e reproduzível dos resultados científicos; seja qual for o caráter parcial do que se obriga a natureza a exprimir, uma vez que ela falou em condições reproduzíveis, todos se inclinam, pois não seria capaz de nos enganar.

5. O Mito nas Origens da Ciência

A convicção característica dos fundadores da ciência moderna vai muito mais longe. Galileu e seus sucessores pensam a ciência como capaz de descobrir a verdade *global* da natureza. Não somente a natureza é escrita numa linguagem matemática decifrável pela experimentação, como essa linguagem é única; o mundo é homogêneo: a experimentação local descobre uma verdade geral. Os fenômenos simples que a ciência estuda podem desde logo entregar a chave do conjunto da natureza, cuja complexidade não é mais que aparente: o diverso reduz-se à verdade única das leis matemáticas do movimento.

É possível que esta convicção, que vem reforçar o método experimental *e em parte o inspirou*, haja sido necessária à ciência moderna nos seus inícios. Talvez fosse preciso uma nova concepção do mundo, tão global como o era a concepção "biológica" do mundo aristotélico, para quebrar o colar de ferro da tradição, dar aos partidários da experimentação uma convicção e um poder polêmico que os tornam capazes de enfrentar a forma reinante do racionalismo. Era preciso, talvez, uma convicção "metafísica" para transmutar o saber dos artesãos, dos construtores de máquinas, em um novo modo de exploração

racional da natureza, em uma nova maneira dessa interrogação fundamental que atravessa todas as civilizações e todas as culturas. Nesta ordem de idéias, pode perguntar-se que implicação a existência desse tipo de convicção "mítica" arrasta, no que tange ao problema das origens do desenvolvimento da ciência na época moderna. Sobre esta questão muito discutida*, limitar-nos-emos a adiantar algumas observações apenas para situar o nosso problema: o problema de uma investigação em que cada progresso pôde ser vivido como desencantamento, descoberta dolorosa da estupidez autômata do mundo.

Claro que é difícil negar que fatores sociais e econômicos (em particular o desenvolvimento das técnicas artesanais em mosteiros onde se conservam também os restos do saber dum mundo destruído, depois nas cidades dinâmicas e mercantis) hajam desempenhado um papel preponderante nas origens da ciência experimental, saber artesanal sistematizado⁶,

É também verdade que uma análise comparativa como a de Xeedham³⁷ estabelece a importância decisiva das estruturas sociais nesse final da Idade Média: a classe dos artesãos e dos produtores potenciais de inovações técnicas não é uma classe desprezada como na Grécia e, além disso, tanto os intelectuais como os artesãos são, na maior parte, independentes do poder. São empresários livres, artesãos inventores, à procura de mecenas, levados a ampliar ao máximo os efeitos de uma novidade, a difundi-la e a explorar-lhe todas as possibilidades, ainda que dessem um golpe na ordem social estabelecida. Fm contraste, diz Needham, os cientistas chineses eram funcionários submetidos às regras da burocracia, servidores dum Estado cujo objetivo primeiro era manter a estabilidade e a ordem. A bússola, a imprensa, a pólvora, que iam contribuir para a destruição dos fundamentos da sociedade medieval e lançar a Europa na época moderna, foram muito antes descobertos na China, mas jamais tais inventos aí tiveram os mesmos efeitos destabilizadores. A sociedade européia, mercantil e empreendedora, estava particularmente, apta a suscitar e a nutrir o desenvolvimento dinâmico e inovador dos primeiros passos da ciência moderna.

Contudo, a questão ressurge. Sabemos que os construtores de máquinas utilizavam descrições e conceitos matemáticos: relações entre as velocidades e as deslocções das diferentes peças montadas, geometria de seus movimentos relativos — mas por que a matematização não se limitou ao funcionamento das máquinas? Por que os movimentos naturais foram concebidos à imagem da máquina racionalizada? Esta mesma questão pode ser posta a propósito do relógio, que constitui um dos triunfos do artesanato medieval e, muito rapidamente, passa a ritmar a vida das primeiras comunidades medievais — por que se tornou quase imediatamente o próprio símbolo da ordem do mundo? Pode-se ver aqui a indicação de uma direção em que certos elementos de resposta poderiam ser identificados. O relógio é um mecanismo *construído*, sujeito a uma racionalidade que lhe é exterior, a um plano que suas engrenagens executam de forma cega. O inundo-relógio constitui uma

metáfora, que remete ao Deus-relojeiro, ordenador racional de uma natureza autômata. Da mesma maneira, um certo número de metáforas e de avaliações da ciência clássica, do seu fim e dos seus meios, sugerem que nos seus inícios uma *ressonância* se estabelece entre um discurso teológico e a atividade experimental de teoria e de medida; uma ressonância que poderia ter contribuído para amplificar e estabilizar a pretensão segundo a qual os homens de ciência estão em via de descobrir o segredo da "máquina universal".

Este termo de ressonância encobre, evidentemente, um problema de uma complexidade extrema que se nos perdoará de assinalar sem tentar resolvê-lo. Não temos, em particular, nem os meios nem o projeto de adiantar que foi um discurso religioso que *determinou*, de certa maneira, o nascimento da ciência teórica, ou a "concepção do mundo" que, historicamente, veio duplicar a atividade experimental. Falando de ressonância e amplificação mútua entre duas populações de discursos, queremos expressamente usar termos que não supõem hipótese sobre qual, do discurso teológico ou do "mito científico", veio o primeiro, ou engrenou o outro³⁸.

Xotemos de passagem que a idéia de uma origem cristã da ciência ocidental interessou certos filósofos, não somente para tentarem compreender como pôde encontrar-se estabilizado o discurso sobre a natureza autômata e estúpida, mas também para divulgarem uma relação que queriam mais essencial entre a ciência e a civilização ocidental. No que respeita a Alfred North Whitehead, essa relação é da ordem da crença: "era preciso" um Deus legislador para inspirar aos fundadores da ciência moderna a "fé científica" necessária aos seus primeiros trabalhos: "Quero exprimir a convicção invencível de que cada acontecimento pode, em todos os seus detalhes, ser posto em correlação com seus antecedentes de maneira perfeitamente definida, aplicação de princípios gerais. Sem esta convicção, o labor inacreditável dos sábios não teria esperança. É a convicção instintiva... que há um segredo que pode ser desvendado... Ela não parece poder encontrar sua origem senão numa fonte: a insistência medieval sobre a racionalidade de Deus, concebida com a energia pessoal de Jeová e com a racionalidade de um filósofo grego"³⁹. Contudo, mesmo quando invoca a continuidade da idéia do legalismo universal que, primeiro o Império romano e depois a Igreja cristã, sucessivamente realizaram no mundo⁴⁰, Whitehead permanece no nível *psicológico*: a inspiração cristã não parece em condições de justificar, de um ponto de vista *especulativo*, que se tenha podido pensar a realidade sensível como suscetível de medida e de cálculo, que se tenha podido pensar que compreender a natureza é descobrir sua lei matemática. Como poderia a natureza possuir a idealidade das matemáticas? É esta a questão evocada por Alexandre Kojève ao explicar que o dogma da encarnação forçou os cristãos a pensar que o ideal pode fazer-se carne. Se um deus encarnou e sofreu, as idealidades matemáticas, por sua vez, podem ser passíveis de medida no mundo material⁴¹.

Não entraremos nesse gênero de discussão; não vemos interesse algum

em "provar" que a ciência moderna "devia" desenvolver-se na Europa. Xem sequer temos que nos perguntar se todos os fundadores da ciência moderna acreditavam nos argumentos teológicos que invocavam; o importante é que tinham ali o meio de tornar suas especulações pensáveis e admissíveis e isso continuou a ser assim durante um período que varia consoante os países: as referências religiosas abundam nos textos científicos ingleses do século XIX. Vê-se que esta questão das origens da ciência nos arrasta para uma problemática de dimensões múltiplas. Os problemas teológicos e científicos encontram-se aí associados ao que se chama de história "externa" da ciência, isto é, a descrição da relação entre a forma e o conteúdo de *corpus* científico e o contexto social. Aqui só nos interessa a natureza do discurso científico, que passou a ser amplificado pela ressonância com um discurso teológico.

Xeedham⁴² conta a ironia com que os letrados chineses acolheram, no século XVIII, o anúncio pelos jesuítas dos triunfos da ciência moderna; a idéia de que a natureza podia estar submetida a leis simples e cognoscíveis constituía para os mandarins um exemplo de ingenuidade antropomórfica. Needham vê para essa "ingenuidade" raízes culturais profundas. Para ilustrar a diferença entre as concepções ocidentais e chinesas, recorda os processos de animais que a Idade Média conheceu. Por diversas vezes, monstros, como um galo que teria posto ovos, foram solenemente condenados e queimados por terem ido contra as leis da natureza, identificadas com as leis de Deus. Na China, o mesmo galo teria tido todas as chances de desaparecer discretamente, não como culpado do que quer que fosse, mas porque o seu comportamento monstruoso haveria traduzido uma dissonância na harmonia natural que, por sua vez, traduziria uma situação de desarmonia a nível social: o governador de província, ou mesmo o imperador, poderia ficar em perigo se o sintoma constituído pelo galo viesse a ser conhecido. Segundo uma concepção filosófica dominante na China, explica Needham, o cosmos é acordo espontâneo, a regularidade dos fenómenos não é devida a nenhuma autoridade exterior, mas nasce, na natureza, na sociedade e no céu, do próprio equilíbrio entre esses processos, estáveis, solidários, que ressoam entre si numa harmonia que ninguém dirige. Se pudesse falar-se de lei a seu respeito, tratar-se-ia de uma lei que ninguém, deus ou homem, jamais pensou, expressa numa linguagem indecifrável para o homem, e não da lei ditada por um criador concebido à nossa imagem, projeção sobre a natureza de uma convenção humana.

E Needham conclui com uma pergunta: "Na perspectiva da ciência moderna não se encontra, evidentemente, nenhum resíduo das noções de mandamento e de dever, no que toca às "leis" da natureza. Agora se pensa essas noções de forma diferente: em termos de regularidade estatística, válida unicamente para tempos e lugares dados, em termos de descrição e não de prescrição... O problema está em saber se o reconhecimento dessas regularidades estatísticas e de suas expressões matemáticas poderia ter sido atingido por outra via diferente da que foi efetivamente a da ciência ocidental.

Porventura esse estado de espírito que fez com que um galo que pôs um ovo devesse ser perseguido pela lei era necessário numa cultura para que fosse, mais tarde, suscetível de produzir um Kepler?"⁴³

Para evitar confusões, esclareçamos que ninguém, de entre os que citamos, sustenta que o discurso científico é a transposição de um discurso religioso. O mundo descrito pela física clássica não é o mundo do *gênesis*, no seio do qual Deus criou sucessivamente a luz, o céu e a terra, depois as espécies vivas, no seio do qual sua Providência não cessa de agir e provocar o homem para uma história onde se joga a sua salvação. Ao contrário, como veremos, é um mundo atemporal que, a ter sido criado, deve tê-lo sido de uma só vez, como um engenheiro constrói um autômato que deixa em seguida de funcionar. Nesse sentido, convém dizer que a física se constitui tanto contra a religião como contra as filosofias tradicionais. E, no entanto, um deus cristão foi muitíssimo bem chamado a garantir a inteligibilidade do mundo, num encontro que nada teve de inocente. Podemos até mesmo supor que houve, de certa maneira, uma "convergência" entre o interesse de teólogos para quem o mundo devia, por sua submissão total, manifestar a onipotência de Deus, e o dos físicos à procura de um mundo de processos matematizáveis.

O mundo natural aristotélico, que a ciência moderna destruiu, não era aceitável nem para esses teólogos nem para esses físicos. Esse mundo ordenado, harmonioso, hierárquico e racional era um mundo demasiado autônomo; nele os seres eram poderosos e ativos em excesso, e sua submissão ao Soberano absoluto permanecia suspeita e limitada". Por outro lado, era demasiado complexo e qualitativamente diferenciado para ser matematizável.

A natureza "mecanizada" da ciência moderna, natureza regida segundo um plano que a domina mas que desconhece, e que não pode senão honrar seu criador, satisfaz perfeitamente, quanto a ela, as exigências de uns e de outros. Leibniz tentara insistentemente demonstrar que a matematização é, em princípio, compatível com um mundo múltiplo, de comportamento ativo e qualitativamente diferenciado, mas homens de ciência e teólogos encontraram-se para descrever a natureza como uma mecânica estúpida e passiva, essencialmente estranha à liberdade e à finalidade do espírito humano. "*A dull affair, soundless, scentless, colourless, merely the hurrying of matter, endlessly, meaninglessly*" "", comenta Whitehead. E é mesmo como tal que a natureza realiza essa convergência de interesses que evocamos. A natureza que deixa o homem perante Deus é também aquela que uma linguagem única — e não as mil vozes matemáticas de que Leibniz tinha a percepção — basta para descrever. Esta natureza, despojada daquilo que permitia ao homem identificar-se, pela sua participação, à antiga harmonia das coisas, é também aquela a quem uma pergunta bem concebida pode fazer confessar de uma só vez a verdade única que a esgota.

A partir daí, o homem que descreve a natureza não pode pertencer-lhe; ele domina-a do exterior. Ainda aqui, uma teologia pode permitir justificar a

estranha posição do homem que, segundo a ciência moderna, é capaz de decifrar — mas laboriosamente, por cálculos e medidas — a lei física do mundo. Galileu explica que a alma humana, criada à imagem de Deus, é capaz de atingir as verdades inteligíveis que governam o plano da criação. Ela pode, portanto, progredir pouco a pouco em direção de um conhecimento do mundo que Deus, por sua vez, possui de maneira intuitiva, plena e completa¹⁶.

Contrariamente aos atomistas da Antigüidade perseguidos por ateísmo, e contrariamente a Leibniz, por vezes suspeito de negar a graça e a liberdade humana, os cientistas modernos conseguiram, pois, descobrir para o seu empreendimento uma definição culturalmente aceitável. O espírito humano, que habita um corpo submetido às leis da natureza, é capaz de chegar, pela decifração experimental, ao ponto de vista de Deus sobre o mundo, ao plano divino que este mundo exprime global e localmente. Mas esse espírito escapa ao seu próprio empreendimento. O cientista pode definir como qualidades secundárias (não pertencendo objetivamente à natureza, mas projetadas sobre ela pelo espírito) tudo o que constitui a própria textura dessa natureza, os perfumes, as cores, os cheiros; nem por isso ele se sente diminuído. Ao contrário, sua singularidade eminente se encontra reforçada: quanto mais rebaixada for a natureza, mais glorificado fica o que dela escapa.

Compreende-se o sentido que pôde revestir a descoberta da gravitação universal: sucesso aparente, integral, do projeto de fazer confessar de uma só vez a sua verdade à natureza, de descobrir o ponto de vista donde, de um único golpe de vista dominador, se pode contemplá-la, oferecida e sem mistério,

6, *O Mito Científico Hoje*

Tentamos delinear uma situação em que a prática científica se pôde acompanhar de uma convicção metafísica — Galileu e seus sucessores põem os problemas dos construtores das máquinas medievais, mas afastam-se de seu saber demasiado fiel à complexidade empírica para decretar, com a ajuda de Deus, a simplicidade do mundo e a universalidade das idealizações que o procedimento experimental põe em evidência. Entretanto, se o mito fundador da ciência moderna foi um efeito do complexo singular criado, no fim da Idade Média, pela entrada em ressonância e pela amplificação mútua de fatores econômicos, políticos, sociais, religiosos, filosóficos e técnicos, a decomposição desse complexo devia, bastante rapidamente, deixar isolados, no seio de uma cultura transformada, a ciência e seu mito doravante inconfessável.

A ciência clássica nasceu numa cultura dominada pela aliança entre *o homem*, situado na charneira entre a ordem divina e a natural, e *o Deus* legislador racional e inteligível, arquiteto soberano que tínhamos concebido à nossa imagem. Ela sobreviveu a esse momento de acordo ambíguo⁴⁷ que permitira a filósofos e a teólogos fazer ciência, e a cientistas decifrar e comentar a sabedoria e o poder divinos agindo na criação.

Com o apoio da religião e da filosofia, os homens de ciência haviam concebido seu procedimento como auto-suficiente, como suscetível de esgotar todas as possibilidades duma aproximação racional dos fenômenos da natureza. A relação entre descrição científica e filosofia da natureza não tinha que ser pensada nesse sentido: era evidente que a ciência e a filosofia convergiam, que a ciência descobria os princípios de uma autêntica filosofia natural. Esse sentimento de auto-suficiência sobreviverá nos homens de ciência à retirada do Deus clássico, ao desaparecimento da garantia epistemológica que a teologia oferecia. Claro que o cientista se encontra só na terra; mas a ciência que ele herda *não é mais a que devia defender seu procedimento contra os aristotélicos*. É, doravante, a ciência triunfante do século XVIII⁴⁸, a que descobriu as leis do movimento dos corpos celestes e terrestres; d'Alembert e Euler puderam tentar a formulação de seus princípios num sistema completo e coerente; Lagrange vai feteçar-lhe a história como uma realização lógica em direção da perfeição; é a ciência à qual as academias fundadas pelos soberanos absolutos prestam honras — Luís XIV, depois Frederico II e Catarina da Rússia⁴³; foi a ciência que fez de Newton um herói nacional. Em suma, é uma ciência *que teve sucesso*, que acredita ter *demonstrado* que a natureza é transparente e como tal pode ser exposta. "Não necessito dessa hipótese", responde Laplace a Napoleão, que lhe pergunta onde está Deus em seu Sistema do Mundo.

As implicações dualistas da ciência moderna sobreviverão ao mesmo tempo que as suas pretensões. Para a ciência de Laplace que, sob muitos pontos de vista é ainda a nossa ciência, uma descrição é tanto mais objetiva quando elimina o observador e se faz dum ponto de observação exterior ao mundo — que dizer, realmente, do ponto de vista divino ao qual a alma humana, criada à imagem de Deus, tinha acesso nos primeiros tempos. A ciência clássica visa sempre descobrir a verdade única do mundo, a única linguagem que decifra a totalidade da natureza — hoje, diríamos *o nível fundamental de descrição* — a partir da qual tudo o que existe pode, em princípio, ser deduzido. A ciência clássica postula sempre a monótona estupidéz do mundo que ela interroga.

Citemos, quanto a este ponto essencial, um texto de Einstein, que traduz em linguagem moderna aquilo mesmo a que nós chamamos de mito fundador da ciência moderna:

"Entre todas as imagens possíveis do mundo, qual é a posição que ocupa a do teórico da física? Essa imagem comporta as maiores exigências a respeito do rigor e da exatidão de representação das relações, como só o emprego da linguagem matemática- pode proporcionar. Mas, em contrapartida, o físico deve materialmente limitar-se e contentar-se em representar os fenômenos mais simples, tanto quanto possa torná-los acessíveis à nossa experiência,

enquanto todos os fenômenos mais complexos não possam ser reconstituídos pelo espírito humano com essa precisão sutil e esse espírito de continuação que o teórico da física exige. A extrema nitidez, a clareza e a certeza não se obtêm senão a expensas da integralidade. Mas que atrativo pode haver no fato de apanhar com exatidão uma porção tão pequena da natureza, deixando de lado, com timidez e sem coragem, tudo o que é mais delicado e complexo? O resultado de um esforço tão resignado merecerá esse nome altivo de imagem do mundo?.

Julgo que esse nome é bem merecido, pois as leis gerais que servem de base à construção do pensamento do teórico da física têm a pretensão de ser válidas para todos os acontecimentos da natureza. Por meio dessas leis, dever-se-ia poder encontrar, pela via da dedução puramente lógica, a imagem, isto é, a teoria de todos os fenômenos da natureza, neles compreendidos os da vida, se esse processo de dedução não ultrapassasse de longe a capacidade do pensamento humano. Não é, portanto, por princípio que se renuncia à integralidade da imagem física do mundo"⁵⁰.

Dissemos que, durante algum tempo, pôde ser mantida por alguns a ilusão de que a atração, posta em fórmulas pela lei da gravitação, permitiria atribuir à natureza uma animação intrínseca e, depois de generalizada, explicaria a gênese de formas de atividade cada vez mais específicas e eletivas, até às interações que constituem a sociedade humana. Essa esperança de que as forças newtonianas permitiriam libertar o mundo da sua submissão mecânica foi rapidamente destruída. O mundo das forças não era capaz de responder às expectativas românticas e não permitia ao cientista escapar à posição de observador desencarnado no seio de uma natureza postulada como inteligível e transparente.

Este insucesso e o de outras tentativas de retomar as ambições da ciência negando seu mito ensinam-nos coerência temível da visão clássica. A única interpretação capaz de lhe escapar parecia de fato a denegação positivista do projeto de compreender, só pelo projeto de manipular e de prever. O século XIX acreditou descobrir que a verdade é triste; o progresso da ciência acaba por ser sempre o mesmo, quaisquer que sejam as convicções pessoais do cientista; o que a ciência clássica toca, seca e morre. Morre para a diversidade qualitativa, para a singularidade, para tornar-se a simples consequência de uma lei geral. O que fora *convicção* inspiradora para alguns dos fundadores da ciência moderna aparece doravante como *conclusão* da própria ciência, imposta pelo seu sucesso⁵¹ e, parece, imposta pela racionalidade e objetividade científicas. No momento em que quer explicar o significado geral de seus resultados e situá-los numa perspectiva culturalmente pertinente, o físico não tem outra linguagem senão a do mito, único discurso coerente que responde à exigência profunda da atividade científica: compreender a natureza e a maneira pela qual as sociedades humanas nela se inserem.

Retornamos ao nosso ponto de partida, à idéia de que foi a ciência *clássica*, enquanto produzida por uma cultura, o próprio símbolo, durante um tempo, de uma unanimidade cultural, e não a ciência em geral, que pôde determinar a crise que acabamos de descrever. A ciência clássica não pôde produzir, no seio do mundo novo em interação com o qual ela se desenvolvia, uma coerência nova que fizesse justiça à sua dupla ambição: compreender o mundo e agir sobre ele. O cientista encontrou-se reduzido a uma oscilação perpétua entre o mito científico e o silêncio da "seriedade científica", entre a afirmação do caráter absoluto e global da verdade científica e a retirada para uma concepção da teoria científica como simples receita pragmática que permite uma intervenção eficaz nos processos naturais. Para o desenvolvimento cultural da nossa época, as ciências da natureza tornaram-se finalmente uma realidade que parece furtar-se à análise. Simultaneamente, as outras atividades intelectuais, artes, filosofias, ciências do homem e das sociedades, perderam não somente uma das fontes mais ricas de sua inspiração mas, se quiserem afirmar sua originalidade própria, terão de lutar para escapar ao modelo, tanto mais fascinante quanto permanece obscuro, das ciências da natureza.

Dissemos que a nossa tese é a de que a ciência clássica atingiu hoje os seus próprios limites. Veremos que um dos aspectos dessa transformação teórica é o da descoberta dos limites de conceitos clássicos que implicavam, para os que acreditavam na sua validade universal, a possibilidade de um conhecimento completo do mundo. Pois se os seres oniscientes, demônio de Laplace, de Maxwell, deus de Einstein, abundam ainda hoje nos textos científicos, não há nisso arcaísmo, mas simples ingenuidade ou "filosofia espontânea de sábio". O conteúdo teórico da ciência clássica contribuiu muito bem para estabilizar o mito de um saber onisciente. É por isso que, por nosso lado, utilizaremos referências desse tipo, tanto para lhes analisar o conteúdo teórico, como para estudar o que hoje as torna impossíveis: elas representam para nós um indicador muito seguro, que permite identificar as teorias que pertencem a essa ciência clássica cujo fim as metamorfoses atuais significam.

Na véspera da síntese newtoniana, John Donne chorava o cosmos aristotélico destruído por Copérnico:

" *And new Philosophy calls ali in doubt, The
Element of fire is quite put out, The Sun is lost,
and th' earth, and no man's u'Ít Can well direct
him where to look for it. And freeh men confess that
this u>orld's spent, When in the Planeis and the
Firmament, They seek só man\ new, tken the f see
that this Is crumbied out again to his Atomies 'T is
ali in Pieces, ali coherence gone'*"TM.

Nas peças esparsas e nos blocos desconjuntados que constituem hoje a

nossa cultura, descobre-se a possibilidade de uma nova coerência, tal como na época de Donne. A ciência clássica, a ciência mítica de um mundo simples e passivo, está prestes a morrer, liquidada não pela crítica filosófica nem pela resignação empirista, mas sim por seu próprio desenvolvimento.

Estamos hoje num ponto de convergência, pelo menos parcial, das tentativas de abandonar o mito newtoniano sem renunciar a compreender a natureza. Iremos demonstrar que esta convergência esboça com clareza alguns temas fundamentais: trata-se do tempo, que a ciência clássica descreve como reversível, como ligado unicamente à medida do movimento ao qual ela reduz toda mudança; trata-se da atividade inovadora, que a ciência clássica nega opondo-lhe o autômato determinista; trata-se da diversidade qualitativa sem a qual nem devenir nem atividades são concebíveis, e que a ciência clássica reduz a uma simples aparência. Julgamos que a ciência hodierna escapa ao mito newtoniano por haver concluído *teoricamente* pela impossibilidade de reduzir a natureza à simplicidade oculta de uma realidade governada por leis universais. A ciência de hoje não pode mais dar-se o direito de negar a pertinência e o interesse de outros pontos de vista e, em particular, de recusar compreender os das ciências humanas, da filosofia e da arte.

Falamos de ressonância entre discursos científicos e teológicos. Hoje pode falar-se de uma outra ressonância, entre as ciências e a dominação "laica" dum mundo industrializado, reforçada pela afinidade que se conhece entre o exercício dessa dominação e a prática compartimentada e muda da ciência. Pensamos que, com a ciência metamorfoseada, o diálogo cultural é de novo possível e que, de forma inseparável, uma nova aliança pode firmar-se com a natureza, em cujo devenir participem o jogo experimental e a aventura exploratória da ciência. Isto não passa, por certo, de uma possibilidade. Se a própria ciência convida hoje o cientista à inteligência e abertura, se os álibis teóricos do dogmatismo e do menosprezo desapareceram, resta ainda a tarefa concreta, política e social de criar os circuitos de uma cultura.

Capítulo VIII A RENOVAÇÃO DA CIÊNCIA CONTEMPORÂNEA

1. Para além da Simplicidade do Microscópio

A ciência newtoniana constituía uma síntese, a termodinâmica constituía outra. Tais sínteses fazem da história das ciências um desenvolvimento cheio de surpresas, muito diferente do monótono e irreversível desdobramento de especialidades cada vez mais compartimentadas sugeridas pela analogia com a evolução das espécies biológicas. A convergência de categorias de problemas e de pontos de vista diferentes, quando ela se produz, destrói pelo contrário os compartimentos, agita o conjunto da cultura científica e também da não-científica, cujas preocupações têm muitas vezes servido de fonte de inspiração e se encontram, em compensação, transformadas. O semi-sucesso de Boltzmann e o cepticismo de Poincaré manifestam perfeitamente que não era preciso nada menos do que uma nova síntese das duas sínteses confrontadas para reencontrar uma concepção coerente da natureza. Hoje, vemos tal síntese se elaborar, tão inesperada como as outras, produzida por sua vez pela convergência de pesquisas que, todas elas, contribuíram para nos fazer abandonar a idéia newtoniana daquilo que uma teoria científica deveria ser: universal, determinista, fechada, tanto mais objetiva quanto não contivesse qualquer referência ao observador, tanto mais perfeita quanto atingisse um nível fundamental, escapando à erosão do tempo.

Sem dúvida que o espetáculo da estabilidade do movimento dos astros, a observação e o cálculo do seu retorno periódico, sempre ao mesmo lugar, têm constituído uma das mais antigas fontes de inspiração desse projeto que é o da ciência clássica: encontrar a estabilidade como verdade da mudança. Do mesmo modo, os que estudam a matéria aí encontravam outrora a simplicidade do elementar; os átomos, os indivisíveis de que os antigos faziam as letras indestrutíveis que compõem o texto do mundo.

Desde a era clássica, o universo físico aberto a nossas pesquisas explodiu; primeiro, em suas dimensões: podemos estudar as partículas elementares cuja ordem de grandeza tipo é de 10^{-13} cm, e estudar sinais vindos dos confins do Universo, de distâncias da ordem dos 10^{28} cm. O nosso conhecimento, certamente com muitas lacunas, incide pois sobre fenômenos cujos extremos estão

separados por uma diferença de escala da ordem de quarenta potências de 10. Mas talvez mais importante que essa extensão dos limites do Universo seja a morte da idéia de sua imutabilidade. Onde a ciência clássica tinha sublinhado a permanência, vemos agora mudança e evolução, vemos partículas elementares que se transformam umas nas outras, que entram em colisão, se decompõem e nascem; já não vemos mais nos céus as trajetórias periódicas que enchiam de admiração o coração de Kant pelo mesmo motivo que a lei moral que nele morava; vemos objetos estranhos, quasares, pulsares, explodem as galáxias e se despedaçam, as estrelas — dizem-nos — afundam-se em *black holes* que devoram irreversivelmente tudo o que podem apanhar; e o Universo inteiro parece guardar, com a radiação de corpo negro, a recordação da sua origem e do acontecimento que principiou sua história atual.

Não foi pois, só em biologia, em geologia, na ciência das sociedades e das culturas que o tempo penetrou, mas nos dois níveis de que era mais tradicionalmente excluído em proveito de uma lei eterna: no nível fundamental e no cosmológico.

Acabamos de falar de um nível fundamental como se esse nível tivesse enfim sido descoberto, como se a ambição de reduzir a complexidade do mundo ao comportamento simples de um número definido de espécies de partículas tivesse enfim sido realizada. Várias vezes, por certo, alguns acreditaram ter sido bem-sucedidos; viu-se no átomo, coração positivo e elétrons negativos, depois no núcleo, prótons e nêutrons, os tijolos de que seria composto o nosso Universo, mas de cada vez um outro nível, aparentemente mais fundamental, foi descoberto, tendo sido preciso introduzir outras partículas, outras interações. Do ponto de vista teórico, o objeto da busca fascinada era a lei universal que substituiria a de Newton para levar em consideração as novas interações descobertas, a teoria unitária, a fórmula mágica donde um demônio matemático poderia deduzir o conjunto das leis físicas. Uma tal lei permaneceu inencontrável.

Essa busca, que obsidiou a vida de Einstein e permite ainda a alguns apresentar, com acentos religiosos, as dificuldades com que se depara o estudo das partículas elementares como "a crise", onde se joga o destino do saber humano, é-nos hoje estranha. O otimismo que ela supunha, a idéia da simplicidade do nível microscópico, não podemos já tomá-los a sério; as partículas elementares também não são simples, tal como o mundo das estrelas. Os únicos objetos cujo comportamento poderá ser verdadeiramente simples pertencem ao nosso mundo, à nossa escala macroscópica; são os primeiros objetos da ciência newtoniana, os planetas, os corpos graves, os pêndulos. A ciência clássica tinha escolhido cuidadosamente os seus objetos nesse nível intermédio; sabemos agora que essa simplicidade não é a marca do fundamental, e que não pode ser atribuída ao resto do mundo.

Aparentemente, isso poderia bastar; a transformação de nossas concepções, que nos mostram daqui para a frente a estabilidade e a simplicidade

como excepcionais, deveria levar-nos a negligenciar muito ingenuamente as pretensões totalitárias da dinâmica, ciência desses objetos simples e estáveis. Por que nos preocuparmos, poderia dizer-se, com a incompatibilidade entre dinâmica e termodinâmica, já que o espectro do nível fundamental que a dinâmica pretendia descrever se dissipou de fato?

Seria esquecer esta fala de Whitehead, que sem cessar é confirmada pela história das ciências: o choque das doutrinas é uma ocasião, uma oportunidade. O abandono puro e simples de certas questões sob pretexto de que são pouco razoáveis foi muitas vezes proposto, mas raramente aceito na íntegra. No começo deste século, vários físicos propuseram o abandono do determinismo como saída para o paradoxo de Loschmidt, o paradoxo da inversão das velocidades e do decréscimo da entropia que ele provoca. Se as leis que regem a população de partículas descrita por Boltzmann são intrinsecamente estatísticas, se o caos molecular constitui a verdade fundamental, a operação de inversão das velocidades será impotente, não poderá constranger o sistema a regressar a seu passado¹⁶⁷.

Mais próximo de nós, Brillouin esperava também destruir o determinismo lembrando esta verdade de bom senso de que um vaticínio preciso exige um conhecimento preciso das condições iniciais, e que este conhecimento deve ser pago; a predição exata suposta pelo determinismo supõe um preço infinito, sendo, portanto, absurda.

Estas objeções às pretensões da dinâmica têm um defeito importante; são razoáveis mas estéreis, não têm qualquer fecundidade própria e não trazem qualquer ponto de vista novo sobre a realidade; querem regular e racionalizar o diálogo com a natureza, mas não constituem a promessa de um novo diálogo, a descoberta de uma nova riqueza, de um novo campo de exploração.

É a razão do papel principal desempenhado pelas demonstrações de impossibilidade. A descoberta de uma impossibilidade física não é produto de uma resignação ao bom senso, é a descoberta de uma estrutura *intrínseca* do real que se ignorava até aí e que condena à impossibilidade um projeto teórico. Na verdade, essa descoberta tem como consequência excluir a possibilidade de uma operação que podia até aí imaginar-se realizável em princípio; máquina térmica nenhuma poderá explorar o calor do meio se não estiver simultaneamente em contato com uma fonte fria; mas isso é também a abertura de um ponto de vista novo sobre o mundo, a base de uma nova possibilidade de ciência.

O nosso século viveu duas demonstrações de impossibilidade física, a que funda a relatividade e a que funda a mecânica quântica, mas viveu-as "às arrecuas", como a revelação de limites opostos às ambições da física; viu nisso, ao mesmo tempo, o apogeu e a crise última, o fim de uma exploração que chegou à descoberta de seus próprios limites. Procuramos mostrar aqui que as duas revoluções científicas do século XX devem ser vistas não como ponto de chegada, mas de partida, de abertura a novas possibilidades teóricas.

2. *O Fim da Universalidade: A Relatividade*

A idéia de que a descrição científica deve ser coerente com a definição dos meios teoricamente acessíveis a um observador que pertença a este mundo, e não a um ser totalmente independente das coações físicas, um ser que contempla o mundo físico "do exterior", constitui uma das idéias fundamentais da relatividade. Foi a propósito da propagação dos sinais que ela descobriu um limite ao qual está submetido todo o observador pertencente ao mundo físico. Com efeito, a velocidade da luz no vácuo ($c = 300\,000\text{ km/s}$) aparece em física como uma velocidade-limite de propagação dos sinais, qualquer que seja a sua natureza (ondas eletromagnéticas, acústicas ou químicas). Desempenha igualmente um papel fundamental, o de constante universal da natureza.

Não há constante universal na física newtoniana, no sentido em que esta constitui uma teoria geral: aplica-se da mesma maneira, qualquer que seja a escala de seus objetos; os movimentos dos átomos, dos planetas e das estrelas são regidos por uma lei idêntica. O Universo é, pois, homogêneo, e o velho sonho que renasce sem cessar é ainda possível: o nosso sistema planetário não será um átomo, no seio de um organismo gigante? E não seremos nós próprios um universo para seres ínfimos mas qualitativamente parecidos conosco? Esse sonho, a descoberta das constantes universais fê-lo finalmente explodir. No momento em que a relatividade conseguiu a proeza de fazer a síntese da dinâmica e do campo eletromagnético responsável pela propagação das ondas luminosas, ela estabeleceu uma distinção entre as velocidades fracas e as que podemos comparar à velocidade da luz. O comportamento dos objetos físicos é, a partir de então, nitidamente diferenciado, consoante sua velocidade se aproxima da da luz ou é muito mais lenta. De igual maneira, a constante h de Planck, à qual voltaremos, determina uma escala natural segundo a massa dos objetos. Não podemos mais imaginar o átomo como um pequeno sistema planetário. Os elétrons pertencem a uma escala diferente da dos planetas e do conjunto dos seres macroscópicos, maciços e lentos, de que nós próprios fazemos parte.

Não contentes em destruir a homogeneidade do Universo introduzindo nele uma escala física em função da qual os comportamentos se diferenciam qualitativamente, as constantes universais levam, já o dissemos, a uma nova concepção de objetividade física. Nenhum ser submetido às leis físicas pode transmitir sinais a uma velocidade superior, à da luz no vácuo. Resulta daí esta notável conclusão a que chegou Einstein: não se pode falar mais de simultaneidade absoluta entre dois acontecimentos distantes. A simultaneidade não pode definir-se senão relativamente a um referencial próprio. O plano seguido neste livro não nos permite entrar numa exposição da física relativista; contentemo-nos em observar aqui que as leis de Newton não supunham, em si, que o observador fosse um ser físico; a objetividade era aí definida como a ausência de referência, na descrição do objeto, àquele que o

descreve. E se imaginarmos inteligências "não-físicas" capazes de comunicar a uma velocidade infinita, para esses, cujo ponto de vista tem o caráter absoluto que a antiga objetividade supunha, as leis da relatividade são falsas. O fato de a relatividade fundar-se numa coação que não é válida senão para observadores físicos, para seres que não podem estar senão em um único lugar de cada vez e não em todo lado ao mesmo tempo, faz desta disciplina uma física *humana* — o que não quer dizer uma física subjetiva, produto de nossas preferências e convicções, mas uma física submetida às coações intrínsecas que nos identificam como pertencendo ao mundo físico que descrevemos. E é essa física, que supõe um observador situado, no mundo, e não a outra teoricamente concebível, a física do absoluto, que a experimentação não cessa de confirmar. O nosso diálogo com a natureza é bem conduzido do interior dela, e aqui ela não responde positivamente senão aos que, explicitamente, reconhecem que lhe pertencem.

3. *O Fim do Objeto Galileu: a Mecânica Quântica*

A relatividade, se modificou a antiga concepção de objetividade física, mantinha intacta uma outra característica fundamental da física clássica, a ambição de obter a descrição "completa" da natureza. Depois da relatividade, o físico não pode mais invocar a extrapolação de um demônio que observaria todo o Universo do exterior, mas pode ainda imaginar o matemático, aquele acerca de quem Einstein afirmava que nem trapaceava nem jogava os dados, aquele que possui a fórmula do Universo donde se pode deduzir matematicamente a totalidade dos pontos de vista possíveis acerca do mundo, a totalidade dos fenômenos da natureza tal como são observáveis de todos os pontos de vista possíveis. Neste sentido, a relatividade se situa ainda no prolongamento da física clássica.

A mecânica quântica, em contrapartida, corresponde à primeira teoria física que verdadeiramente cortou as amarras e abandonou toda referência a esse ponto fixo que o conhecimento divino do mundo constituía; a mecânica quântica não nos localiza somente na natureza, mas identifica-nos como seres "pesados", constituídos por um número macroscópico de átomos. Disse-se que, para conceber melhor as conseqüências do caráter de constante universal da velocidade da luz, Einstein se imaginara cavalgando um fóton; mas a mecânica quântica descobre que somos demasiado pesados, nós ou nossos instrumentos de medição, para cavalgar um fóton ou um elétron; é impossível nos imaginarmos no lugar de seres tão leves, nos identificarmos a eles, descrever o que pensariam, se acaso pensassem, o que experimentaríamos, se pudessem sentir alguma coisa.

Há já mais de cinquenta anos que Bohr, Heisenberg e alguns outros chegaram a essa conclusão, ainda difícil de pensar; ela é mesmo radicalmente inaceitável para alguns que, como Einstein, lutam para que a física não renuncie a descrever o elétron "em si", abstraindo das coações determinadas

pelo caráter macroscópico dos nossos instrumentos de medição. É isso o que está em jogo na famosa questão das "variáveis ocultas": poderemos imaginar que o movimento dos elétrons e dos outros seres quânticos é determinado por variáveis físicas, mesmo se essas variáveis são inobserváveis para nós? Noutros termos: poderemos voltar ao ponto de vista clássico? Recentemente foram feitas engenhosas tentativas para decidir a questão, pelo menos parcialmente, no plano experimental. Até agora a resposta foi negativa: a existência das variáveis ocultas teria consequências que a experimentação contradiz¹⁸⁸.

O nosso ponto de vista é muito diferente. Como veremos, a mecânica quântica introduz, com efeito, uma nova coerência nos fenômenos. As "propriedades ondulatórias" exprimem um caráter coletivo dos movimentos, desconhecido na mecânica clássica. Ora, variáveis ocultas corresponderiam à situação oposta, e ninguém esperaria que seu efeito fosse o de um aumento do caráter desordenado do movimento. Seremos levados a concluir que o problema não está em juntar variáveis (ocultas ou não), antes em suprimi-las.

A história da mecânica quântica, como a de todas as inovações conceituais, é uma história complexa e cheia de imprevistos, a história de uma lógica cujas implicações são descobertas depois que ela própria foi produzida na urgência do diálogo experimental. Não podemos descrever aqui essa história, mas sublinhar apenas a maneira inesperada como ela participa na convergência que, atualmente, tem como resultado renovar a dinâmica e construir a ponte entre essa ciência do ser e o mundo do devir.

Na origem da mecânica quântica, há um conjunto de dados novos que a mecânica clássica não conseguia interpretar, tal como tinha sido incapaz, um século antes, de enunciar as leis do funcionamento das novas máquinas que punham em ação, não as forças da gravidade mas o poder motor do fogo. Ainda desta vez, é do fogo que se trata, do calor ou da faísca elétrica, que atuam num corpo quimicamente puro, e da luz que emite ou absorve esse corpo excitado. No fim do século XIX sabia-se que cada elemento químico emite uma luz que lhe é específica, uma luz que, contrariamente à luz branca, não possui o conjunto contínuo das frequências, mas apenas um espectro descontínuo; essa luz, quando, decomposta em suas frequências constituintes, impressiona uma placa fotográfica, revela uma autêntica *assinatura* do elemento químico, um conjunto de riscos, linhas de intensidade e frequência característicos. Por que um átomo excitado emite numa série de frequências descontínuas? Que estrutura atômica pode explicar que cada elemento químico tenha um espectro particular? São os dados do estudo espectroscópico da matéria que constituem um dos pontos de partida históricos da mecânica quântica.

Por outro lado, em 1900, o estudo de certas propriedades das radiações luminosas tinha levado Max Planck a introduzir uma constante universal. No começo dos seus trabalhos, ele tinha a ambição de fazer para a interação matéria-luz o que Boltzmann fizera para a interação matéria-matéria, isto é,

descobrir um modelo cinético da evolução irreversível. Foi no decurso desses trabalhos (sobre o "corpo negro") que teve de admitir que só uma repartição descontínua da energia (em que h permite definir o "grão elementar") podia explicar os dados experimentais.

Uma vez mais, o desafio posto pelo problema da irreversibilidade tinha contribuído para a realização de um progresso decisivo da física.

A descoberta de Planck ficou isolada, e quase ignorada, até que Einstein (1905) compreenda a significação geral dessa constante h e as suas implicações no que concerne à natureza da luz. A constante de Planck liga o aspecto ondulatório da luz, bem conhecido a partir do século XVII, a um aspecto aparentemente contraditório, o aspecto corpuscular. A onda luminosa é caracterizada por uma frequência, ν , e um comprimento de onda, λ ; k permite passar da frequência a uma grandeza corpuscular, um "grão" ou quantum de energia ($h\nu = \epsilon$), e permite passar de λ a uma grandeza mecânica, o momento, ou quantidade de movimento ($h/\lambda = p$). E esta dualidade onda-partícula que Louis de Broglie tornou extensiva à matéria (1924) e que foi o ponto de partida da formulação moderna da mecânica quântica, com sua perturbação de categorias clássicas como a de causalidade. Mas, na origem, a quantificação da energia aplicada por Einstein a problemas como o do calor específico a baixa temperatura inspirou a idéia de que os átomos e as moléculas não evoluem de maneira contínua, mas "saltam" entre os níveis discretos de energia, que são os únicos onde podem encontrar-se.

Foi Niels Bohr que ligou essa nova física quântica aos dados respeitantes aos espectros de emissão e de absorção e, portanto, ao problema do átomo. Com efeito, já em 1913 Bohr propunha um modelo de átomo, de aparência bastante simples, mas cujos postulados, à primeira vista paradoxais, iam finalmente dar origem à mecânica quântica. Elétrons carregados negativamente giram à volta de um núcleo carregado positivamente. Primeiro paradoxo: o elétron carregado deveria, nessas condições, segundo a física clássica, emitir uma irradiação, perder deste modo progressivamente sua energia e, finalmente, esmagar-se contra o núcleo; em consequência, a órbita eletrônica definida por Bohr não pode ser estável. Bohr postula também que esse movimento do elétron não é descrito pela ciência clássica; postula explicitamente a estacionariedade da órbita eletrônica e o caráter conservativo ao movimento do elétron; e ainda que este não emite irradiação enquanto gira em sua órbita, podendo, portanto, manter-se aí indefinidamente.

Só quando o átomo é excitado é que o elétron pode ser expulso da sua órbita, e é no momento em que passa de uma órbita a outra que emite ou absorve um fóton cuja frequência corresponde à diferença das energias que caracterizam o movimento eletrônico em cada uma das duas órbitas; daí os espectros de absorção onde se referenciam as frequências luminosas dos fótons que foram absorvidos pelos elétrons que saltam para órbitas mais afastadas do núcleo, e os espectros de emissão, irradiação emitida espontânea-

mente pelos átomos quando recaem do estado de excitação para o normal: os elétrons emitem um fóton quando saltam para uma órbita mais próxima do núcleo, onde seu movimento terá uma energia mais baixa.

Resta explicar o caráter descontínuo e específico das linhas espectrais. É aqui que intervém diretamente os "níveis quânticos". Segundo postulado: para cada átomo só-existe um certo número de órbitas permitidas; a energia ligada ao movimento orbital do elétron só pode ter certos valores determinados. A assinatura espectroscópica do átomo, as linhas espectrais que ele emite ou absorve, denota, portanto, as diferenças entre os níveis de energia permitidos para cada átomo, e permite-nos identificar e calcular o valor do conjunto das órbitas características de cada tipo de átomo, ou de molécula, o conjunto dos estados estacionados quânticos de cada corpo químico.

Uma das conseqüências do modelo de Bohr¹⁶⁹, já que o movimento orbital não emite nem absorve nenhuma energia, é que ele não produz nada que possamos medir, não interage com o mundo exterior. Podemos conhecer algo do elétron só no momento em que ele salta de uma órbita para outra: nessa ocasião, podemos conhecer a diferença de energia entre os dois níveis orbitais. Por conseqüência, só os níveis de energia das órbitas são observáveis e podem ser reconstituídos, mas o próprio movimento nessas órbitas, a posição e a velocidade do elétron em cada instante, esses não os podemos conhecer.

É uma teoria estranha, híbrida, a de Bohr. Por um lado, é ainda formulada em termos de mecânica clássica e, mais especificamente, da teoria dos sistemas integráveis (tais como os definimos no capítulo II, 3); por outro lado, ela deve "juntar" aos conceitos clássicos regras suplementares (estacionariedade das órbitas que correspondem aos níveis quânticos, emissão de irradiação só no momento dos "saltos").

É instrutivo comparar a teoria de Bohr à de Boltzmann, que expusemos no capítulo precedente. Nos dois casos, trata-se de uma obra na qual a intuição física desempenha um papel essencial. São verdadeiramente, nesse sentido, exemplos magníficos desse diálogo com a natureza invocado na introdução deste livro. Em ambos os casos, o modelo imaginado ultrapassava a ciência da época: não se tratava de dedução, antes de abertura para continentes desconhecidos. Claro que os esquemas teóricos postulados por Boltzmann e Bohr permitiam compreender melhor os dados experimentais, mas iam sobretudo suscitar pesquisas cuja fecundidade domina ainda a ciência contemporânea.

No caso da teoria quântica, é a Heisenberg, Jordan, Born, Schrödinger e Dirac (no decurso dos anos 1925-1927) que cabe o feito de haverem transformado a tentativa de Bohr num edifício coerente, de uma elegância comparável à da mecânica clássica, e isso, incorporando-lhe a dualidade onda-corpúsculo de Einstein e de de Broglie.

Antes de tudo, fora necessário encontrar um conceito novo, desconhecido

da física clássica, que permitisse incorporar na linguagem teórica a "quantificação"; o fato observado de que um átomo não pode encontrar-se senão em estados discretos. Significa isto, em particular, que a energia (ou o hamiltoniano) não pode mais ser essa simples função das posições e dos momentos como na mecânica clássica, sem o que, dando a essas posições e a esses momentos valores próximos, a energia variaria de maneira contínua. Ora, há níveis energéticos discretos.

A descoberta da insuficiência dos conceitos da dinâmica clássica é inseparável de uma atmosfera geral de "crise" que reinou depois da Primeira Guerra Mundial, especialmente na Alemanha. A exemplo de Heisenberg, que os inventou, parece de fato que muitos viveram como uma libertação, como uma ocasião de renovação, a introdução em física de uma noção completamente nova: a noção de operador^{17o}. Contudo, é preciso sublinhar que, fosse qual fosse o contexto social e cultural da sua invenção, os operadores impuseram-se em física porque constituíam o único método formulado até então para se levar em conta a quantificação.

A fim de compreender o papel dos operadores, associados por Heisenberg e os outros fundadores da mecânica quântica às grandezas físicas da mecânica clássica, tais como, por exemplo, as coordenadas de posição q , os momentos p ou a energia $H(p, q)$, devemos introduzir também os objetos sobre os quais os operadores agem, "operam". Tomemos uma função simples, por exemplo " x^2 ", e sujeitemo-la a uma operação matemática, como seja uma derivação, representada por " d/dx "; o resultado dessa operação é uma nova função, neste caso " $2x$ "; mas certas funções se comportam de maneira particular em relação à operação de derivação; por exemplo, a função exponencial: se se deriva " e^x ", obtém-se " e^x ", isto é, encontra-se a função de partida simplesmente multiplicada por um número. Essas funções que se reproduzem por aplicação de um operador são chamadas de "funções próprias" do operador, e os números pelos quais a função própria se encontra multiplicada depois da aplicação do operador são os "valores próprios" do operador.

A todo operador corresponde assim um conjunto, um "reservatório" de valores numéricos — esse conjunto forma o seu *espectro*. Este espectro pode ser *discreto* quando os valores próprios formam uma seqüência discreta. Existe, por exemplo, um operador cujos valores próprios são todos os inteiros 0,1,2... Um espectro pode também ser contínuo, formado por todos os números entre zero e um, por exemplo.

A toda grandeza física da mecânica clássica corresponde um operador em mecânica quântica, e os valores numéricos que essa grandeza física pode tomar são os próprios desse operador. O que é essencial é que a noção de grandeza física (representada por um operador) se encontre disjunta da de seus valores numéricos (representados pelos valores próprios do operador). Em especial, a energia será agora representada pelo operador hamiltoniano e

os níveis, quer dizer, os valores energéticos observados, serão os próprios que correspondem a esse operador.

No domínio da física atômica e molecular, essa construção audaciosa foi admirável mente verificada pela experiência. Abriu à física um mundo microscópico de uma riqueza insuspeitada, e é decerto uma das fraquezas desta obra o termos consagrado tão pouco espaço a esse domínio fascinante onde a imaginação criadora e a observação experimental se juntam de maneira particularmente inesperada. Limitar-nos-emos a sublinhar aqui que a estrutura tão original da mecânica quântica revelou que o mundo microscópico é regido por leis de uma estrutura nova, pondo fim uma vez por todas às esperanças de uma descrição única do Universo com a ajuda de um único esquema conceitual.

Cada linguagem possui uma lógica, que toda frase supõe, mas que cada uma, em particular, não revela senão de maneira parcial; cada linguagem matemática, ajustada para exprimir uma situação especial, abre com efeito, bem para além das intenções dos que a inauguram, um campo de exploração cheio de surpresas. A estrutura da mecânica quântica, construída a propósito de descobertas experimentais já adquiridas, ia rapidamente revelar-se plena de um conteúdo físico novo, inaudito, para falar com propriedade.

Hoje podemos interrogar-nos, à distância, sobre o significado que se pode atribuir à introdução de operadores. Historicamente, eles estão decerto ligados à existência dos níveis energéticos, e veremos, por outro lado, a interpretação que Niels Bohr lhes deu com a complementaridade. Mas, como iremos ver, os operadores encontram doravante uma aplicação na própria mecânica clássica, o mesmo é dizer que seu significado se encontrará ampliado muito para lá do que haviam previsto os fundadores da mecânica quântica. Pode dizer-se que, na generalidade, a noção de operador se introduz doravante de maneira natural sempre que, por uma razão ou outra, é preciso ultrapassar o conceito de trajetória e, portanto, introduzir uma descrição estatística, *isto tanto na mecânica clássica como na mecânica quântica*. Estudaremos mais adiante algumas das razões que levam a uma tal ultra passagem; elas podem ser múltiplas; o essencial permanece: é o *abandono da trajetória*, e do determinismo que ela implica, que leva à introdução, na física, do conceito de operador.

4. *Relações de Incerteza e de Complementaridade*

Vimos já que um "operador" age sobre uma função. Se esta for uma função própria, pode-se dizer que a grandeza física que o operador representa tem um valor bem determinado, ou seja, precisamente o valor próprio correspondente. Tomemos agora *duas* grandezas físicas representadas por operadores O_i e O_j . Poderemos atribuir-lhes, *simultaneamente*, valores bem determinados? Esta questão admite uma resposta precisa no quadro da mecânica quântica. Por meio de O_i , O_j podemos formar os dois operado-

rés $O_i 'O_z$ e $O_i O \setminus$. Estes dois operadores diferem segundo a ordem das operações: $O_i O_z f = O_i [O_i f]$ significa que aplicamos, em primeiro lugar, O_i à função f , e depois O_i ao resultado, ao passo que o $O_i O_i$ /corresponde à ordem inversa. Em geral, os resultados são diferentes conforme se aplique $O_i O_z$ ou $O_z O_i$ e diz-se então que os operadores O_i e O_i não comutam. Vejamos um exemplo: se O_j é o operador "multiplicar pela coordenada q " e O_i , o operador "derivar em relação a q ", temos $O_i O_z f = q [\partial f / \partial q]$ e $O_i O_i f = d/cq [qf]$. A regra de derivação de um produto faz que $(O_i O_i - O_i O_j) f = (\partial/d q q - g \partial/dq) f = f$ e como este resultado é verdadeiro *qualquer que seja a função f* , escreve-se de maneira abreviada $O_i O_i - O_i O_j = I$. $O_i O_i - O_i O_j$ é, por definição, o *comutador* dos operadores O_i e O_j .

Podemos formular agora a resposta à questão suscitada: não podemos fazer corresponder valores numéricos bem determinados *ao mesmo tempo* a O_j e a O_i a não ser que esses operadores comutem, isto é, que $O_i O_i = O_z O_i$. É só neste caso que o sistema poderá ser representado por funções que sejam funções próprias simultaneamente de O_i e de O_z . Consideremos primeiro um exemplo clássico, estudando a aplicação dos operadores $O_i = q$, $O_i = \partial/\partial q$ à função de distribuição clássica q , no espaço das fases (o espaço das coordenadas q e dos momentos p). Isto implica simplesmente que, se p é função própria de q , a distribuição estatística nas coordenadas se reduz a um valor bem determinado da coordenada, o valor próprio, todas as outras têm uma probabilidade nula. Ao contrário, se p é uma função própria de $\partial/\partial q$, pode-se demonstrar facilmente que o conjunto estatístico *não depende* das, coordenadas — todos os valores" das coordenadas têm a mesma probabilidade. Compreende-se agora que uma mesma função p não poderá ser, *simultaneamente*, função própria de q e de $\partial/\partial q$. A distribuição / não pode ao mesmo tempo corresponder a um valor bem determinado e indeterminado da mesma grandeza física, e a não-comutação dos operadores q e $\partial/\partial q$ (ou p e $d/d p$) exprime simplesmente uma *impossibilidade lógica*.

Essa não-comutação toma um sentido novo e mais fundamenta] em mecânica quântica. Como veremos a seguir, de forma um pouco mais detalhada, a constante h *reduz* o número de variáveis em relação ao que é necessário para descrever inteiramente um sistema clássico. Coordenadas e quantidades de movimento (q e p) deixam de ser independentes. Podia pressentir-se essa diminuição do número de variáveis independentes a partir da relação de Einstein e de Broglie, $A = k/p$, que liga o comprimento de onda λ (propriedade ondulatória) à quantidade de movimento p (propriedade corpuscular).

Deste modo, a constante de Planck liga os comprimentos (e, portanto, as coordenadas) a quantidades de movimento. De maneira mais precisa, a mecânica quântica associa a q e p operadores, $q \rightarrow q$ et $p_{op} = h/2\pi i d/dq$, o que, como vimos, os define como não-comutativos (poderia também tomar-se $q_{op} = h/2\pi i d/dq$, $p_{op} = p$, essencial é que os operadores associados às coordenadas e às quantidades de movimento não comutem em caso algum).

A impossibilidade "lógica" que encontramos na mecânica clássica toma, assim, um sentido novo. Não podemos atribuir, simultaneamente, a p e a $<\$ valores bem determinados em mecânica quântica, e daí o nome de relação de incerteza dado por Heisenberg a essa relação de não-comutação.

Em mecânica clássica podemos considerar toda uma gama de conjuntos caracterizados pela função p ; por exemplo, uma distribuição pode corresponder a um valor bem determinado em q e indeterminado em p (todos os valores de p têm a mesma probabilidade). Podemos também (onde não atue o fenômeno de instabilidade que introduziremos no capítulo seguinte) passar ao limite duma trajetória única, correspondendo a um conjunto caracterizado, *ao mesmo tempo*, por valores bem determinados de q e de p . Em mecânica quântica isto se torna impossível; podemos escolher um conjunto bem determinado em q , ou em p , mas não existe conjunto bem determinado em q e em p ao mesmo tempo. A mecânica quântica, em cuja novidade radical Bohr e Heisenberg tanto insistiram, não reclama por isso, necessariamente, uma nova lógica; ela corresponde, de fato, à mesma exigência de não-contradição do formalismo clássico, mas redefine o que é contraditório.

Niels Bohr defendera o abandono total do realismo, no sentido clássico, sublinhando que a constante de Planck define como não-decomponível a interação entre um sistema quântico e um instrumento de medida. Portanto, é o *fenômeno* quântico resultado da operação de medida ao qual se podem atribuir as grandezas cujos valores numéricos vamos medir. Em consequência, toda descrição implica a *escolha* da operação de medida, necessariamente macroscópica, a efetuar, a escolha do dispositivo experimental por cuja mediação o sistema será explorado; em suma, a escolha da pergunta feita ao sistema quântico. A resposta registrada não nos permite descobrir uma dada realidade; o número quântico medido caracteriza o sistema no estado próprio no qual *escolhemos* produzi-lo e descrevê-lo, fazendo-lhe *experimentalmente* uma determinada pergunta e não outra.

A objetividade clássica identifica descrição objetiva do sistema "tal como ele é em si mesmo" e descrição completa. Neste sentido, a mecânica quântica impõe-nos, certamente, redefinir a noção de objetividade, não ligá-la à observação simultânea das coordenadas e dos momentos (ou quantidades de movimento). Mas essa redefinição é bem mais geral do que Bohr julgava, não se limitando ao problema do "fenômeno" quântico, na definição do qual a interação de medida é beneficiária, mas atingindo igualmente os sistemas da dinâmica clássica, visto que, também aí, a passagem ao limite para as trajetórias pode vir a ser impossível.

Insistimos no fato de que essa nova objetividade não nos parece, em todo o caso, resultar de perturbações arbitrárias introduzidas pela operação de medida, e de que não é nesse sentido que se deve compreender a mudança de estrutura em relação à dinâmica mediada por h . A interpretação, muitas vezes

sugerida, que coloca nos fundamentos da mecânica quântica a idéia das perturbações provocadas pela observação, conduz, como se sabe, à falsa situação em que o sistema "em si" parece efetivamente caracterizado por valores bem determinados do conjunto dos parâmetros, mesmo se os valores de alguns dentre eles são "confundidos" pela medição. Então, o realismo tradicional seria acompanhado, simplesmente, de uma interdição de aparência estreitamente positivista: não atribuir simultaneamente uma posição e uma velocidade a uma partícula, sob o pretexto de que, se se medir uma delas, se modifica a outra de maneira incontrollável.

Fora contra essa interpretação — que deixa intacta a idéia clássica da realidade física, mas interdiz abstratamente de a ela se referir — que Bohr sublinhara a novidade da idéia *positiva* de uma escolha necessária. O físico não descobre uma verdade determinada, que o sistema silenciaria; ele deve escolher uma linguagem, isto é, o conjunto dos conceitos macroscópicos, em cujos termos será solicitado ao sistema que responda. É precisamente essa idéia de escolha que Bohr exprimia com o princípio de complementaridade. Nenhuma linguagem, ou seja, nenhuma preparação do sistema que permita representá-lo por uma função própria de um ou de outro operador, pode esgotar a realidade do sistema; as diferentes linguagens possíveis, os diferentes pontos de vista tomados sobre o sistema, são *complementares*; todos tratam da mesma realidade, mas não podem ser reduzidos a uma descrição única. Esse caráter irreduzível dos pontos de vista de uma mesma realidade é muito rigorosamente a impossibilidade de descobrir um ponto de vista genérico, um ponto de vista a partir do qual a totalidade do real seria simultaneamente visível. A lição do princípio de complementaridade não é uma lição de resignação, não se tratando de renunciar pela razão a uma descrição demasiado completa ou precisa; Bohr dizia que não podia pensar no significado da mecânica quântica sem sentir vertigens; é realmente um arrancar vertiginoso dos hábitos do bom senso compreender que toda a propriedade macroscópica é inseparável da "iluminação" que decidimos projetar sobre a realidade, e que esta é demasiado rica, que seus relevos são excessivamente complexos para que um só projetor possa iluminá-la em sua totalidade.

A verdadeira lição do princípio de complementaridade, aquela que pode ser traduzida noutros campos do conhecimento, como Bohr toda a sua vida tentara fazer, é sem dúvida essa riqueza do real que transborda de cada linguagem, de cada estrutura lógica, de cada iluminação conceptual; cada uma pode somente exprimir uma parte dela — *mas consegue exprimi-la*; assim, a música não é esgotada por nenhuma de suas estilizações, o mundo dos sons é mais rico do que todas as linguagens musicais podem exprimir, seja a da música esquimó, de Bach ou de Schönberg; mas cada uma constitui uma escolha, uma exploração eletiva e, como tal, a possibilidade de uma plenitude.

5. O Tempo Quântico

Entretanto, se a mecânica quântica renovou profundamente a física introduzindo pela primeira vez a idéia de operadores que não comutam, de transformações entre pontos de vista diferentes, há um aspecto em relação ao qual ela continua tradicional: é a questão do papel do tempo na evolução do sistema quântico. A esse nível, a lógica da dinâmica hamiltoniana impõe à mecânica quântica o mesmo tipo de concepção da mudança que ela traduzia na dinâmica.

Como na dinâmica clássica, a energia, transformada num operador, desempenha um papel central na mecânica quântica, e mesmo um duplo papel. O hamiltoniano clássico era, por um lado, um *invariante* do movimento: exprimindo a energia total do sistema em termos das variáveis canônicas, ele conservava um valor constante para toda a evolução dinâmica de um sistema isolado; mas, por intermédio das equações canônicas, era também a estrutura do hamiltoniano que determinava a evolução de p e q , contendo ele mesmo a *lei* do movimento dinâmico. O operador hamiltoniano, H , dá também por seus valores próprios os níveis de energia do sistema. Dá, além disso, a evolução temporal do sistema através da equação de Schrödinger que, em mecânica quântica, substitui as equações canônicas de Hamilton.

A equação de Schrödinger, que é a equação fundamental da mecânica quântica, tem uma estrutura muito próxima da da equação de Liouville, já por nós citada no capítulo precedente e que escrevemos $Lp = i\hbar \partial p / \partial t$. Ela se traduz, realmente em $i\hbar \partial \psi / \partial t = H\psi$. A diferença mais importante respeita ao número de variáveis que a mecânica quântica admite. Vimos já que os operadores que, em mecânica quântica, correspondem às coordenadas q e aos momentos p não são independentes. Estão ligados pela relação de incerteza. Enquanto a forma da distribuição estatística p depende, ao mesmo tempo, dos q e dos p , a função de onda ψ em mecânica quântica só depende da metade dessas variáveis, seja dos operadores correspondentes a q , seja dos operadores correspondentes a p . A descrição estatística torna-se aqui, portanto, *irredutível*, e nós não podemos mais passar ao limite da trajetória clássica.

A função de onda ψ não tem sentido estatístico simples; pode ser positiva ou negativa e, como mostra o símbolo i na equação de Schrödinger, nem sequer é necessariamente uma grandeza real. Mas, se tomarmos $|\psi|^2$ obtemos uma grandeza real positiva; é ela que podemos identificar a uma probabilidade. Assim, como Max Born demonstrou, $|\psi(ij)|^2$ permite calcular a probabilidade de encontrar uma partícula no ponto da coordenada q .

Mais geralmente, a regra que liga a função de onda ψ às probabilidades é a seguinte: para calcular as probabilidades de resultado de uma medida particular é preciso desenvolver a função ψ em termos de funções próprias do operador representando a grandeza física em questão, quer dizer, representar ψ como uma *superposição* dessas funções próprias ψ_j .

Cada função $u_1 \dots u_n$ encontra-se ponderada por um coeficiente $c_1 \dots c_n$, e cada ei permite calcular a *probabilidade* de a medida eventualmente efetuada sobre o sistema dar o valor próprio correspondente à função própria de u_j .

Há só um caso em que a equação de Schrödinger conduz a uma predição determinista: é quando $\langle b \rangle$, em vez de ser uma *superposição* de funções próprias, se *reduz* a uma única dentre elas. Assim, pode-se preparar um sistema de tal sorte que o resultado de uma medida particular seja previsível. "Sabe-se" então que o sistema é descrito pela função própria correspondente. Mas — e voltamos a encontrar aqui as relações de incerteza —, só informações *estatísticas* poderão ser dadas a propósito das grandezas correspondentes a operadores que não comutem com aquele cujo valor próprio é assim determinado.

É preciso, pois, sublinhar que 0 não é uma quantidade física observável em si, mas que contém a evolução das diferentes probabilidades dos valores que podem tomar as grandezas observáveis. É a sua evolução que determina toda a mudança observável do sistema no decurso do tempo. Dissemos que, de maneira análoga à dinâmica, é o operador hamiltoniano que determina esta evolução $H_{op} \psi = \hbar \omega \psi$. E esta equação de Schrödinger, como as equações dinâmicas regidas pelo hamiltoniano clássico, engendra uma evolução de i/\hbar *reversível* e *determinista*. Ao movimento reversível numa trajetória corresponde a mudança reversível da função de onda. Por outro lado, logo que a função de onda é conhecida num dado instante, a equação de Schrödinger permite calculá-la em qualquer instante anterior ou ulterior: a situação, deste ponto de vista, é estritamente análoga à da mecânica clássica. É o que resulta do fato das relações de incerteza da mecânica quântica não se aplicarem ao tempo. Este permanece como um número, não como operador; e só operadores podem aparecer nas relações de incerteza. Mas, como veremos no capítulo seguinte, essa conclusão não é geral: certos sistemas, clássicos ou quânticos, permitem-nos introduzir um segundo tempo, um tempo-operador que obedecerá a uma relação de incerteza. Essa é uma conclusão notável: a relação entre o "ser" e o "devir" transforma-se, por sua vez, no objeto de uma complementaridade alargada. Mas não antecipemos.

A representação do sistema em termos de funções próprias do operador hamiltoniano constitui muito precisamente, por seu turno, o análogo quântico da representação privilegiada dos sistemas integráveis clássicos, em termos dos invariantes do movimento (capítulo II, 3). Assim, por exemplo, o modelo atômico de Bohr, com suas orbitais em níveis de energia bem determinados, corresponde a esse tipo de representação: a probabilidade de encontrar o elétron numa órbita estacionária de energia E não varia no decurso do tempo. De maneira geral, os *estados estacionários* sobrepostos que constituem $\langle p \rangle$ nessa representação evoluem sem qualquer interação de uns com os outros, como se cada um estivesse "só no mundo". Aparece assim ainda mais claramente que, tal como as equações dinâmicas, a equação de Schrödinger descreve uma evolução onde nada de novo pode "se produzir".

Entretanto, sabe-se que o elétron não se mantém indefinidamente na sua órbita, senão seríamos incapazes de o descrever. Quando o sistema é perturbado por uma interação com o mundo exterior, pode sofrer uma transformação irreversível, o elétron pode mudar de estado estacionado, saltar de uma órbita para outra — e é somente na seqüência desse processo que podemos conhecer os valores dos diferentes níveis de energia do sistema. E por causa dessa intervenção de um processo irreversível, necessário para tornar acessíveis os dados concernentes aos estados estacionários, que o problema da irreversibilidade, longe de ser solucionado pela mecânica quântica, nela se coloca com uma nova urgência.

O fato de a evolução da função de onda não permitir descrever a interação com o mundo, no seguimento da qual são conhecidos os dados acerca do sistema quântico, é hoje um pólo de interesse dos especialistas da mecânica quântica. E o problema da medida.

Como foi sublinhado com ênfase por N. Bohr e L. Rosenfeld, toda a medida possui sempre um elemento de *irreversibilidade*, contém sempre um apelo a fenômenos irreversíveis, tais como, por exemplo, os processos químicos que correspondem ao registro fotoquímico dos "dados"¹⁷². Isto é já verdadeiro na mecânica clássica. Quando se trata de fenômenos quânticos, a obtenção dos dados não pode ser idealizada como referência espaço-temporal instantânea. O registro é acompanhado de uma tal amplificação que um acontecimento microscópico produz um efeito ao nível macroscópico, ao nível observável onde podemos decifrar os instrumentos de medida. *O fenômeno quântico supõe a irreversibilidade.*

Mas o problema da medida levanta-se de maneira urgente em mecânica quântica, sobretudo porque se põe ao nível do próprio formalismo. Idealmente, a medida quântica é também uma preparação; ela reconduz, "*reduz*" a função de ψ a intervir onda (expressa antes da medida pela *superposição* das funções próprias do operador correspondente à grandeza física medida) a *uma só* dessas funções próprias. Em conseqüência, o sistema medido já não é representado por uma superposição, e não existe mais distribuição das probabilidades de o encontrar em cada um dos estados próprios caracterizados por um valor determinado da grandeza medida. Com toda a certeza, ele se encontra no estado próprio designado pelo resultado da medição. Esse processo de *redução* da função de onda ψ a um de seus componentes não é reversível. Não pode, por isso, ser representado pela equação de Schrödinger.

O problema da medição está, pois, no centro da mecânica quântica, não somente do ponto de vista físico mas do ponto de vista formal. O ponto de vista habitual é que a mecânica quântica é levada a postular a coexistência de dois tipos de evolução irreduzíveis: a evolução reversível e contínua descrita pela equação de Schrödinger, e a redução irreversível e descontínua, quando da medição. Essa coexistência seria irreduzível, pois a evolução reversível não descreve uma grandeza física, mas uma entidade abstrata que contém as

probabilidades das diferentes medições e, por isso, essa evolução não tem qualquer sentido sem a medida irreversível que ela é, contudo, incapaz de descrever. As duas evoluções, reversível e irreversível, encontravam-se assim solidárias, implicando o conceito de estado estacionário, por definição, a existência de processos intrínseca mente diferentes. A mecânica quântica parecia, portanto, na impossibilidade de constituir uma estrutura fechada, de pretender reduzir toda a evolução física a uma transformação determinista e reversível, de estado equivalente em estado equivalente.

Perante estas dificuldades, certos físicos refugiaram-se ainda no subjetivismo, explicando que somos *nós* — *nossa* medição, e até mesmo, segundo alguns, *nosso* espírito:— que determinamos a evolução do sistema a infringir a reversibilidade natural, "objetiva"¹⁷⁵. Outros concluíram que a equação de Schrödinger não estava "completa" e que devia, então, ser completada por meio de termos que levassem em conta a irreversibilidade da medição. Estas duas soluções, estreitamente paralelas a soluções análogas propostas para resolver o problema da irreversibilidade em mecânica clássica, já não são aceitáveis tanto num caso como noutro. O problema suplementar posto em mecânica quântica, a coexistência da reversibilidade e da irreversibilidade, traduz o fato de que a idealização clássica, que levava a descrever o mundo dinâmico como "isolado", é impossível no que concerne ao mundo microscópico. É o que Bohr sublinhava quando lembrava que a linguagem pela qual descrevemos um sistema quântico é solidária dos conceitos macroscópicos que descrevem o funcionamento dos nossos aparelhos de medição; a equação de Schrödinger não descreve um nível fundamental da realidade; implica-nos essencialmente, implica o mundo macroscópico ao qual pertencemos.

O problema da medição em mecânica quântica traduz, assim, ao nível da mecânica quântica, o problema fundamental que constitui o eixo deste livro: a articulação entre o mundo simples, das trajetórias hamiltonianas e da equação de Schrödinger, e o mundo macroscópico em que vivemos. Veremos no capítulo seguinte que a irreversibilidade clássica começa onde a idealização das trajetórias se torna inadequada. O problema da medida em mecânica quântica é passível do mesmo tipo de solução. Nesta analogia, a função de onda representa, por seu lado, o conhecimento máximo, ideal, de um sistema quântico desta feita. Tanto no caso clássico como no quântico, a restrição ao objeto ideal da teoria conduz a equações de evoluções reversíveis. Nos dois casos, também, a irreversibilidade e o processo de medida correspondem a situações em que esse objeto ideal deve ser substituído em benefício de conjuntos estatísticos. A razão física deste abandono é a mesma nos dois casos: instabilidade. É para o estudo deste conceito que nos devemos voltar agora.

Conclusão

O REENCANTAMENTO DO MUNDO

1. *O Fim da Onisciência* [esquema histórico]

Sem dúvida a ciência é uma arte de manipular a natureza. Mas é também um esforço para a compreender, para responder a algumas questões que, de geração em geração, alguns homens não cessaram de colocar a eles mesmos. Uma dessas questões voltou, através deste livro, como tema obsessivo, e obsidia a história das ciências e a da filosofia. É a questão da relação entre o ser e o devir, entre a **permanência e a mudança**.

Fizemos alusão às especulações pré-socráticas, compassadas por algumas escolhas conceituais decisivas: a mudança que faz nascer e morrer as coisas será imposta do exterior a uma matéria que lhe fica indiferente? Ou será produto da atividade intrínseca e autônoma dessa matéria? Será preciso evocar um motor ou antes o devir será imanente às coisas? **No século XVII, a ciência do movimento constituiu-se contra o modelo biológico de uma organização espontânea e autônoma dos seres naturais.** Por isso, ela se encontra dilacerada entre duas possibilidades fundamentais porque, se toda a mudança não é senão movimento, o que é então responsável pelo movimento? Será preciso, com os atomistas, ater-se aos átomos no vazio, às suas colisões aleatórias, às suas associações precárias? Ou então **o responsável pelo movimento será uma "força" exterior às massas que lhe constituem o suporte? De fato, essa alternativa punha a questão da possibilidade de emprestar uma ordem legal à natureza.** Esta é intrinsecamente aleatória, os comportamentos são regulares, previsíveis e reprodutíveis: não serão senão o efêmero produto de um acaso feliz? Ou virá a lei em primeiro lugar? Poderemos desenvolver "forças" que imponham à matéria inerte um comportamento legal, suscetível de descrição matemática, os princípios da física?

No século XVIII, o acaso dos turbilhões precários e espontâneos foi vencido pela lei matemática imutável; e o mundo regido por essa lei não é mais o mundo atomista onde as coisas nascem, vivem e morrem nos acasos de uma proliferação sem objetivo; é um mundo em ordem, no qual nada se pode produzir que não tenha, desde sempre, sido dedutível da definição instantânea do sistema de suas massas.

Com efeito, a concepção dinâmica do mundo não constitui em si uma novidade absoluta. Bem ao contrário, podemos situar de maneira muito precisa o lugar da sua origem: é o mundo celeste aristotélico, o mundo imutável e divino das trajetórias astronômicas, o único suscetível, segundo Aristóteles, de uma descrição matemática exata. Fizemo-nos eco do lamento segundo o qual a ciência, e a física em particular, desencanta o mundo. Mas ela o desencanta precisamente porque o diviniza e nega a diversidade e o devir naturais, dos quais Aristóteles fazia o atributo do mundo sublunar, em nome de uma eternidade incorruptível, única suscetível de ser pensada com verdade. O mundo da dinâmica é um mundo "divino", no qual o tempo não ataca e o nascimento e morte das coisas estão definitivamente excluídos.

Contudo, esse não era, aparentemente, o projeto daqueles a que chamamos fundadores da ciência moderna; se eles desejavam quebrar a interdição de Aristóteles segundo a qual as matemáticas param onde a natureza começa, parece que não pensavam, procedendo assim, em descobrir o imutável por detrás do mutante, mas realmente estender a natureza mutável e corruptível até os confins do Universo. Galileu, na primeira jornada do seu *Diálogo dos grandes sistemas* extasia-se pelo fato de alguns poderem pensar que a Terra seria mais nobre e admirável se o dilúvio não tivesse deixado senão um mar de gelo, ou se ela tivesse a duração incorruptível do jaspé: possam os que julgam que a Terra seria mais bela transformada em globo de cristal encontrar uma cabeça de Medusa que os transforme em estátuas de diamante e os torne assim "melhores" do que são.

Mas os objetos de ciência selecionados pelos primeiros físicos que começaram a matematizar os comportamentos naturais — o pêndulo ideal de oscilação eterna e conservativa, a bala de canhão no vazio, as máquinas simples de movimento perpétuo, e igualmente as trajetórias dos planetas que, de ora em diante, são assimilados a seres naturais — todos estes objetos, a propósito dos quais foi travado o primeiro diálogo experimental, se revelaram suscetíveis de uma descrição matemática *única*. Uma descrição que reproduzia, precisamente, a divina idealidade dos astros de Aristóteles.

As máquinas simples da dinâmica, como os Deuses de Aristóteles, não se ocupam senão com eles mesmos. Nada têm a aprender; mais ainda, têm tudo a perder, de um contato qualquer com o mundo exterior. Simulam um ideal que o *sistema dinâmico* realizará. Descrevemos esse sistema e mostramos em que sentido ele constitui a rigor um sistema do mundo, sem ceder lugar algum a uma realidade que lhe seria exterior. A cada instante, cada um dos seus pontos sabe tudo o que deverá um dia saber, ou seja, a distribuição espacial das massas e suas velocidades. O sistema está presente em si, sempre e por toda a parte: cada estado contém a verdade de todos os outros, e todos podem se entreprender, quaisquer que sejam suas posições respectivas no eixo monódromo do tempo. Pode dizer-se que, nesse sentido, uma evolução dinâmica é tautológica. Cego e surdo a todo e qualquer mundo exterior, o sistema funciona sozinho, e todos os seus estados se equivalem para ele.

As leis universais da dinâmica das trajetórias são conservativas, reversíveis e deterministas. Implicam que o objeto da dinâmica seja cognoscível de parte a parte: a definição de um qualquer estado do sistema e o conhecimento da lei que rege a evolução permitem deduzir, com a certeza e a precisão de um raciocínio lógico, a totalidade de seu passado e de seu futuro.

Por isso, a natureza concebida sob o modelo do sistema dinâmico nada mais podia ser que uma natureza estranha ao homem que a descreve. A única possibilidade aberta era a de se aproximar do local da descrição ótima, onde o demônio de Laplace, impávido, desde sempre já calculou o mundo passado e futuro, depois de ter marcado, num momento determinado, os valores das posições e velocidades de cada partícula.

Numerosos críticos da ciência moderna acentuaram o caráter de passividade e submissão que a física matemática empresta à natureza que descreve. E, de fato, a natureza autômata, totalmente previsível, é igualmente manipulável de parte a parte para quem saiba preparar-lhe os estados. Pensamos, entretanto, como conclusão deste livro, que o diagnóstico não pode ser tão simples assim. Claro que "conhecer", no decurso dos três últimos séculos, foi muitas vezes identificado com "saber manipular". Mas não está aí a questão toda, e as ciências não se deixam reduzir sem violência ao mero projeto de domínio. Elas são também diálogo, não, evidentemente, intercâmbio entre sujeitos, mas explorações nas quais aquilo que está em jogo não é apenas o silêncio e a submissão do outro.

Antes de tudo, é preciso estabelecer uma diferença entre a dinâmica e outras ciências em que a idéia de manipulação desempenha um papel. A psicologia skinneriana, por exemplo, aprende a manipular os seres vivos, que ela considera como caixas negras; apenas lhe interessam as "entradas", o que controla, e as "saídas", as reações do sujeito da experiência; do mesmo modo, a ciência das máquinas a vapor não teve por ambição "entrar" na fornalha, mas unicamente compreender as correlações entre as variações de grandezas mensuráveis *do exterior*. Ao contrário, a dinâmica esgota o próprio objeto por um conjunto de *equivalências que definem igual e inseparavelmente possibilidades de manipulação*. O melhor exemplo é o da inversão das velocidades. Para identificar a causa e o efeito, o que desaparece ao determinar a mudança, e o ganho equivalente que constitui essa mudança, invoca-se uma manipulação ideal em que a velocidade seria instantaneamente invertida. O corpo tornaria a atingir sua *altitude* inicial, perdendo a integralidade da *velocidade* adquirida. A equivalência fundamental $mv^2/2 = mgh$ define ao mesmo tempo o *objeto* dinâmico "objetivamente" e uma *manipulação* idealmente possível.

A dinâmica realiza, portanto, de maneira singular, uma convergência entre os interesses de manipulação e os de conhecimento que visam somente à compreensão da natureza. Portanto, pode-se compreender que a ciência tenha podido parecer dominada pela ambição de manipular, mas também que essa dominação se haja revelado instável, quando novos objetos chamaram a atenção e a curiosidade.

Sob este aspecto, certamente não existe melhor símbolo de uma transformação que é, antes de tudo, a das nossas interrogações e dos nossos interesses, do que a evocação dos dois motivos de admiração de Kant: o eterno movimento dos astros, no céu, e a lei moral, no seu coração; duas ordens legais, imutáveis e heterogêneas. Descobrimos agora a violência do Universo, sabemos que as estrelas explodem e que as galáxias nascem e morrem. Sabemos que não podemos nem sequer garantir a estabilidade do movimento planetário. E é essa instabilidade das trajetórias, são as bifurcações onde encontramos as flutuações da nossa atividade cerebral, que nos são hoje fonte de inspiração¹⁸³.

Tentamos compreender os processos complexos pelos quais a transformação dos nossos interesses, das questões que julgamos decisivas pôde entrar em ressonância com as vias de investigação próprias da ciência, e determinar na coerência fechada das suas certezas a abertura que acabamos de referir. E é porque se tratava de modificar a amplitude de conceitos, de inserir problemas numa paisagem nova, de introduzir questões que perturbam a definição das disciplinas, em suma, porque se tratava de inscrever na ciência a urgência de preocupações novas, que a abertura tomou as vias múltiplas e muitas vezes retorcidas que descrevemos.

Talvez a história da **termodinâmica** seja, a este respeito, exemplar.

Tínhamos-lhe dado como ponto de partida a formulação da lei de condução do calor por Fourier. Era o primeiro processo intrinsecamente irreversível a encontrar uma expressão matemática, e foi enquanto tal que provocou escândalo: a unidade da física matemática, baseada nas leis da dinâmica, rompeu-se para sempre.

A lei de Fourier descreve um processo espontâneo — o calor propaga-se —, não fornece o meio de o anular ou inverter, numa palavra, de o controlar. Para controlar o calor é preciso, ao contrário, *evitar* toda a condução ou entrada em contato de corpos a temperaturas diferentes. A lei de Fourier descreve, em particular, um desperdício irremediável quando o problema é empregar o calor para fazer mover um motor. E por isso que o ciclo de Carnot, a partir do qual serão formuladas as leis da termodinâmica, pode ser reduzido a um conjunto de *estratégias* para evitar a condução irreversível. A termodinâmica constituiu-se, pois, a propósito da irreversibilidade, mas também *contra* ela, procurando não conhecê-la, mas fazer sua economia. E a entropia de Clausius descreverá, antes de tudo, conversões de energias calorífica e mecânica perfeitamente controladas, integralmente reversíveis.

Ora, a história, como bem sabemos, não ficou por aí, e a idéia de que as transformações não controladas, fontes de perdas, contribuem sempre para aumentar irreversivelmente a entropia, transformou-se na afirmação de um crescimento: os processos naturais fazem aumentar a entropia. Há aí um

desses deslizamentos de que já falamos: o interesse pelos processos naturais enquanto tais impõe-se numa problemática de engenheiro.

Pela primeira vez se encontra tematizado, não o manipulável, mas o que, por definição, escapa à manipulação ou não pode ser a ela submetido senão com estratagemas e perdas. E, portanto, a física reconhece que a dinâmica — que descreve a natureza como submissa e controlável em seu ser — não corresponde senão a um caso particular. Em termodinâmica, o caráter controlável não é natural, resulta de um artifício; a tendência a escapar à dominação manifesta uma atividade intrínseca da natureza; nem todos os estados se equívalem para ela.

O século XIX não podia, sem dúvida, recusar-se a reconhecer a irreversibilidade, ele que, ao mesmo tempo, era assediado pelo esgotamento dos recursos e arrebatado pelas perspectivas de revolução e de progresso. E o século XX, por seu lado, procurou nos processos irreversíveis uma chave para o que desejava compreender da natureza, aqueles fenômenos aos quais precisava dar um estatuto físico — sob pena de ter de renunciar à idéia de uma pertinência da descrição física na compreensão da natureza. Se a obsessão do esgotamento, do nivelamento das diferenças produtoras, foi determinante para a interpretação do segundo princípio, foi o modelo biológico que constituiu a fonte de inspiração decisiva no que concerne à história que se seguiu: o abandono da restrição da termodinâmica aos sistemas artificialmente separados do mundo, sua metamorfose numa ciência do mundo povoado de seres capazes de evoluir, e de inovar, de seres dos quais não podemos, salvo escravizando-os, dar o comportamento previsível e controlável.

A termodinâmica dos processos irreversíveis descobriu que os fluxos que atravessam certos sistemas físico-químicos e os afastam do equilíbrio podem nutrir fenômeno de auto-organização espontânea, rupturas de simetria, evoluções no sentido de uma complexidade e diversidade crescentes. No ponto onde se detêm as leis gerais da termodinâmica pode-se revelar o papel construtivo da irreversibilidade; é o domínio onde as coisas nascem e morrem ou se transformam numa história singular tecida pelo acaso das flutuações e a necessidade das leis.

A partir de agora, estamos mais próximos dessa natureza a propósito da qual, segundo os raros ecos que nos chegaram, se interrogavam os pré-socráticos, e também dessa natureza sublunar da qual Aristóteles descrevia os poderes de crescimento e de corrupção, cuja inteligibilidade e incerteza qualificava de inseparáveis. Os caminhos da natureza não podem ser previstos com segurança; a parte de acidente é neles irredutível e bem mais decisiva do que o próprio Aristóteles julgava: a natureza bifurcante é aquela em que pequenas diferenças, flutuações insignificantes, podem, se se produzirem em circunstâncias oportunas, invadir todo o sistema, engendrar um regime de funcionamento novo.

Essa instabilidade intrínseca da natureza nós a encontramos num outro nível, o do microscópico. Neste, procuramos compreender que estatuto dar à irreversibilidade, ao elemento aleatório, à flutuação estatística, a todas essas noções que a ciência macroscópica acabava de reunir num complexo novo. Isto porque, num mundo homogêneo descrito pelas leis usuais da dinâmica, ou por qualquer outro sistema de leis do mesmo tipo, essas noções não teriam sido senão aproximações, e ilusões as perspectivas que nós introduzimos.

A idéia de que a física não pode definir o movimento molecular como determinado, e, portanto, de que a descrição estatística tem um caráter irreduzível, não é contudo desconhecida em física. Como nota o historiador das ciências Brush¹⁸⁴, os homens de ciência do século XIX, em particular, falam muitas vezes da indeterminação, da irregularidade, do caráter aleatório dos movimentos moleculares, designadamente para justificar já então o uso de raciocínio estatístico; Maxwell, por exemplo, no artigo "Atom", publicado em 1875 na *Encyclopedia Britannica*, escreve que a irregularidade do movimento elementar é necessária para que o sistema se comporte de maneira irreversível. Mas, noutro lugar, tinha afirmado que a irregularidade está ligada à nossa ignorância. De maneira geral, foi corrente a ambigüidade entre uma indeterminação intrínseca e uma indeterminação "epistemológica". Esta ambigüidade, como é sabido, transformou-se em oposição com o problema da interpretação do formalismo quântico.

Contudo, o próprio Maxwell tinha pressentido uma chave da solução que podemos dar hoje a esse problema, quando falou da instabilidade do movimento, dos pontos singulares onde pequenas causas produzem efeitos desmesurados. Mas a dinâmica permite atualmente definir sistemas onde esses pontos singulares estão em *todo o lado*, onde região alguma do espaço das fases, por pequena que seja, está deles desprovida.

Por isso, o problema pode ser formulado em toda a generalidade. O ideal da onisciência encarna na ciência das trajetórias e no demônio de Laplace que as contempla num instante e as calcula para a eternidade. Mas as trajetórias que parecem tão reais são, na verdade, idealizações; não as observamos nunca como tais porque, para isso, seria necessário uma observação de precisão positivamente infinita: haveria necessidade de poder atribuir a um sistema dinâmico uma condição inicial pontual, assinalá-lo num estado único, com exclusão de qualquer outro estado *tão próximo quanto se queira*. Nas situações em que habitualmente pensamos, essa observação não tem consequências: pouco importa que a trajetória não seja definida senão aproximativamente; a passagem ao limite para valores bem determinados das condições iniciais, se não é efetivamente realizável, é concebível e a trajetória continua a apresentar-se como limite para o qual tende uma série, de precisão crescente, das nossas observações. Entretanto, encontramos dois tipos de obstáculo intransponível nessa passagem ao limite: a desordem, o caos das trajetórias para os sistemas "de fraca estabilidade" e a coerência dos movimentos quânticos determinados pela constante de Planck. Nos dois casos, porque, respectiva-

mente, trajetórias divergentes se encontram numa mistura tão íntima quanto se queira, ou porque, ao contrário, são demasiado solidárias, a definição de um estado pontual único perde seu sentido, a trajetória não é mais somente uma idealização, mas uma idealização inadequada.

Assim, a dinâmica e a mecânica quântica descobriram os limites intrínsecos daquilo a que se chamou de "revolução científica", quer dizer, o caráter excepcional das situações que foram objeto do primeiro diálogo experimental. Os primeiros físicos tinham, muito judiciosamente, escolhido objetos eminentemente redutíveis a uma modelização matemática, objetos que pertenciam todos à classe bastante restrita dos sistemas dinâmicos para os quais a trajetória pode ser definida com sentido. A história da física contemporânea está ligada à descoberta da validade limitada dos conceitos ajustados a propósito de tais sistemas, cuja descrição pode ser dada como completa e determinista, à descoberta, no próprio seio da física matemática, do mundo "sublunar".

É claro que o fim do ideal de onisciência é o de um problema posto somente ao nível teórico. Ninguém jamais pretendeu estar à altura de prever as trajetórias de um sistema dinâmico complexo. O próprio demônio de Laplace aparece como introdução de um tratado sobre as probabilidades, e não era a figura da dominação universal; ele não nos garantia a possibilidade de prever tudo; anunciava-nos que, do ponto de vista da *teoria física*, o futuro está contido no presente, o devir e a inovação, o mundo dos processos onde vivemos e que nos constitui são, senão ilusões, pelo menos aparências determinadas pelo nosso modo de observação.

Tanto ao nível macroscópico como ao nível microscópico, as ciências da natureza libertaram-se, portanto, de uma concepção estreita da realidade objetiva que crê dever negar em seus princípios a novidade e a diversidade, em nome de uma lei universal imutável. Libertaram-se de um fascínio que nos representava a racionalidade como coisa fechada, o conhecimento como estando em vias de acabamento. Doravante, elas estão abertas à imprevisibilidade, da qual não fazem mais o sinal de um conhecimento imperfeito, de um controle insuficiente. Abriram-se, por isso, ao diálogo com uma natureza que não pode ser dominada mediante um golpe de vista teórico, mas somente explorada, com um mundo aberto ao qual pertencemos e em cuja construção colaboramos. Essa abertura, que Serge Moscovici tão bem soube descrever, é a que ele batizou de "revolução kepleriana", por oposição às revoluções copernicanas, que mantêm a idéia de um ponto de vista absoluto. No início deste livro citamos textos que acusavam a ciência e a assimilavam à obra do desencantamento do mundo. Citemos agora Moscovici, quando descreve as ciências que hoje se inventam:

"As ciências, arrastadas nessa aventura, a nossa, existem para refrescar tudo o que tocam e aquecer tudo o que penetram, a terra na qual vivemos e as verdades que nos fazem viver. A cada virada ouve-se, não o eco de um fim, o

dobro de um desaparecimento, mas a voz de um renascimento e de um recomeço, a duras penas, da humanidade e da materialidade, um instante fixado em sua efêmera permanência. É por isso que as grandes descobertas, como a de Copérnico, não são furtadas num leito de morte, mas oferecidas, como a de Kepler, no caminho dos sonhos despertos e das paixões bem vivas¹⁸⁵.

Resta-nos agora passar em revista algumas das conseqüências da metamorfose da ciência, cuja história acabamos de esquematizar.

2. *O Tempo Reencontrado* [conseqüências da metamorfose]

Há mais de três séculos que a física reencontrou o tema da multiplicidade dos tempos.

Atribui-se muitas vezes a Einstein a audácia de ter reconduzido o tempo a uma quarta dimensão. Mas Lagrange, e também d'Alembert, na *Encyclopédie*, tinham já avançado que a duração e as três dimensões espaciais formam um conjunto de quatro dimensões. De fato, afirmar que o tempo nada mais é do que o parâmetro geométrico que permite contar, do exterior, e que, como tal, esgota a verdade do devir de todo ser natural, é quase uma constante da tradição física há três séculos. Assim, Émile Meyerson pôde descrever a história das ciências modernas como a realização progressiva do que ele via como um preconceito constitutivo da razão humana: a necessidade de uma explicação que reduza o diverso e a mudança ao idêntico e ao permanente e que, por conseguinte, elimine o tempo.

Em nossa época, é realmente Einstein quem encarna com maior força a ambição de eliminar o tempo. E isso através de todas as críticas, todos os protestos e todas as angústias que suas afirmações absolutas suscitaram. É bem conhecida a cena que se desenrolou na Sociedade de Filosofia de Paris, no dia 6 de abril de 1922¹⁸⁶. Henri Bergson tentou defender, contra Einstein, a multiplicidade dos tempos vividos coexistente na unidade do tempo real, defender a evidência intuitiva que nos faz pensar que essas durações múltiplas participam de um mesmo mundo. Leia-se a resposta de Einstein: rejeita sem apelo, por incompetência, o "tempo dos filósofos", certo de que experiência alguma vivida pode salvar o que a ciência nega.

Mais notável ainda é, talvez, a troca de cartas entre Einstein e o mais íntimo dos seus amigos, o da sua juventude em Zurique, Michele Besso¹⁸⁷. Besso era um cientista mas, no fim da vida, preocupado cada vez mais intensamente com a filosofia, a literatura e tudo o que urde o significado da existência humana. Não deixou, por isso, de interrogar Einstein: o que é a irreversibilidade? Qual a sua relação com as leis da física? E Einstein respondeu-lhe, com uma paciência que só mostrou para com esse amigo: a irreversibilidade não passa de uma ilusão, suscitada por condições iniciais improváveis. Este diálogo sem saída repetiu-se até que, numa última carta, na

altura da morte de Besso, Einstein escreve: "Michele me precedeu de pouco para deixar este mundo estranho. Isso não tem importância. Para nós, físicos convencidos, a distinção entre passado, presente e futuro não é mais que uma ilusão, ainda que tenaz".

Hoje, a física não nega mais o tempo. Reconhece o tempo irreversível das evoluções para o equilíbrio, o tempo ritmado das estruturas cuja pulsão se alimenta do mundo que as atravessa, o tempo bifurcante das evoluções por instabilidade e amplificação de flutuações, e mesmo esse tempo microscópio que introduzimos no último capítulo e que manifesta a indeterminação das evoluções físicas microscópicas. Cada ser complexo é constituído por uma pluralidade de tempos, ramificados uns nos outros segundo articulações sutis e múltiplas. A história, seja a de um ser vivo ou de uma sociedade, não poderá nunca ser reduzida à simplicidade monótona de um tempo único, quer esse tempo cunhe uma invariância, quer trace os caminhos de um progresso ou de uma degradação. A oposição entre Carnot e Darwin deu lugar a uma complementaridade que nos falta compreender em cada uma das suas produções singulares.

A descoberta da multiplicidade dos tempos não é uma "revelação" surgida da ciência, de repente; bem ao contrário, os homens de ciência deixaram hoje de negar o que, por assim dizer, *todos eles sabiam*. É por isso que a história da ciência que nega o tempo foi também uma história de tensões sociais e culturais.

O que, na origem, tinha sido uma aposta audaciosa contra a tradição aristotélica dominante se transformou, em primeiro lugar, progressivamente, numa afirmação dogmática dirigida contra todos os que — químicos, biólogos e médicos, por exemplo — procuravam fazer respeitar a diversidade qualitativa da natureza. Mas, no fim do século XIX, não existia mais confronto; este não se situava tanto entre os cientistas, desde então organizados em disciplinas académicas diferenciadas, como entre "a ciência" e o resto da cultura, em particular a filosofia. Aliás, pode-se ver em certas oposições quase hierárquicas estabelecidas no interior de doutrinas filosóficas dessa época um testemunho do confronto com o dogmatismo do discurso científico. Assim, o "tempo vivido" dos fenomenólogos, ou a oposição entre o mundo objetivo da ciência e o *Lebenswelt* que lhe deve escapar, poderiam dever alguns de seus traços à necessidade de definir um último bastião contra as devastações da ciência. Descrevemos as pretensões desta como ligadas a um dos seus estados histórica e intelectualmente circunscritos mas, para alguns, era de valores absolutos postos em jogo que se tratava, em que se discutia a vocação ou o destino do homem, de disputas em que se jogava a salvação ou a perda dele. Assim, não lembra Gérard Granel que, segundo Husserl, a filosofia, meditação de enraizamento originário de toda a experiência, está em luta contra um esquecimento que exporia a humanidade moderna a habitar, com todas as suas ciências e eficiências, no monumento em ruínas da filosofia — que, na opinião de Husserl, fez o mundo europeu e sua ciência — como os bandos de macacos no templo de Angkor¹⁸⁸?

Há todo um conjunto de oposições: entre aparência e realidade, com a questão de quem, da ciência ou da filosofia, será seu juiz; entre saber e não saber; entre preconceitos cegos e saber produzido por uma ruptura ou por uma ascese; entre ciência dos fundamentos e ciência do epifenômeno, que estruturam o terreno de um confronto, em relação ao qual nós desejaríamos hoje tornar a maior distância possível. Seja como for, os físicos perderam, por seu turno, todo argumento *teórico* para reivindicar qualquer privilégio, de extraterritorialidade ou de precedência. Como cientistas, pertencem à cultura para a qual contribuem por sua parte.

3. Atores e Espectadores

Ainda aqui, é talvez a história de Einstein que nos leva a compreender de forma mais dramática o sentido da transformação sofrida pela física no decurso deste século. Com efeito, foi ele o primeiro a descobrir a fecundidade das *demonstrações de impossibilidade*, quando fez da impossibilidade de transmitir uma informação a uma velocidade superior à da luz a base da exclusão da noção de simultaneidade absoluta à distância e sobre a exclusão dessa "inobservável" construiu a teoria da relatividade. O próprio Einstein via nessa diligência o equivalente da diligência que fundou a termodinâmica sobre a impossibilidade dum movimento perpétuo. Mas alguns dos seus contemporâneos, como Heisenberg, viram bem o alcance da diferença entre as duas impossibilidades; no caso termodinâmico, uma certa *situação* é definida como ausente da natureza; no caso da relatividade, é uma *observação* que é definida como impossível, isto é, um tipo de comunicação entre a natureza e quem a descreve. E, apesar de Einstein, foi seguindo seu exemplo que Heisenberg baseou o formalismo quântico na exclusão das grandezas definidas pela física como inobserváveis.

Merleau-Ponty afirmara, nos seus *Resumes de cours*¹⁸⁹, que as descobertas "filosóficas" da ciência, suas transformações conceituais fundamentais, provêm muitas vezes de *descobertas negativas*, ocasião e ponto de partida de uma inversão de perspectiva. Quer na relatividade, quer em mecânica quântica ou em dinâmica, as demonstrações de impossibilidade ensinaram-nos que não se podia descrever a natureza "do exterior", como simples espectador. A descrição é uma comunicação, e essa comunicação está submetida a coações muito gerais, que a física pode aprender a reconhecer porque elas nos identificam como seres macroscópicos, situados no mundo físico. Doravante, as teorias físicas pressupõem a definição das possibilidades de comunicação com a natureza, a descoberta das questões que ela não pode entender — a menos que sejamos nós a não podermos compreender suas respostas a esse respeito.

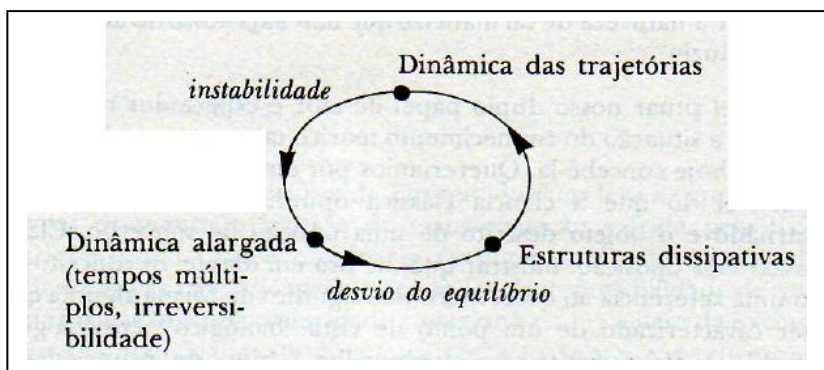
A própria natureza dos argumentos teóricos pelos quais explicitamos a nova posição das descrições físicas manifesta o duplo papel de ator e de

espectador que passa a nos ser destinado. Assim, mesmo em teoria dinâmica dos sistemas de fraca estabilidade, ou em mecânica quântica, continuamos a fazer referência às noções de ponto no espaço, das fases e de trajetórias, que nos definem a nós mesmos como espectadores, mas para precisar imediatamente em que se trata nos dois casos de **idealizações inadequadas**. Chegamos aqui a certos temas associados ao "idealismo", mas é muito notável que as exigências mais determinantes na adoção da nova posição conceitual que acabamos de descrever sejam as normalmente associadas ao "materialismo": compreender a natureza de tal maneira que **não haja absurdo em afirmar que ela nos produziu**.

É possível situar nosso duplo papel de ator e espectador num contexto que explicita a situação do conhecimento teórico tal como a evolução da física nos permite hoje concebê-la. Quereríamos pôr em dia a articulação coerente hoje possível do que a ciência clássica opunha, a saber, **o observador desencarnado e o objeto descrito de uma posição de sobrevôo**. Claro que ultrapassar essa oposição, mostrar que, de ora em diante, **os conceitos físicos contêm uma referência ao observador** não significa de forma alguma que esse deva ser caracterizado de um ponto de vista "biológico", "psicológico" ou "filosófico". A física limita-se a atribuir-lhe o tipo de propriedade que constitui **a condição necessária a toda relação experimental com a natureza, a distinção entre o passado e o futuro, mas a exigência de coerência leva a procurar se a física pode igualmente reencontrar esse tipo de propriedade no mundo macroscópico**.

Partamos então, por exemplo, desse observador. Acabamos de dizer que a única coisa que é exigida dele é uma atividade orientada no tempo, sem a qual exploração alguma do meio que o rodeia — e, *a fortiori*, descrição alguma física reversível ou irreversível — é concebível: **a própria definição de um aparelho de medida, ou a preparação de uma experimentação, necessita da distinção entre "antes" e "depois"; e é porque sabemos da irreversibilidade do devir que podemos reconhecer o movimento reversível, a mudança simples, redutível a uma equivalência reversível entre causa e efeito**. Mas, por seu lado, a dinâmica clássica constitui um ponto de partida, em virtude de as leis dinâmicas reversíveis constituírem *para nós* o centro de referência da matematização da natureza. **O mundo legal das trajetórias reversíveis permanece, portanto, no cerne da nossa física e constitui uma referência conceptual e técnica necessária para definir e descrever o domínio onde a instabilidade permite introduzir a irreversibilidade, quer dizer, uma ruptura da simetria das equações em relação ao tempo**. Entretanto, o mundo reversível não é mais, então que um caso particular, e a dinâmica, equipada com o operador entropia que permite descrever o mundo complexo dos processos, encontra-se, por sua vez, colocada como ponto de partida: ela pode, ao nível macroscópico, gerar a inércia monótona dos estados de equilíbrio — estados médios produzidos por compensação estatística —, mas pode também gerar a singularidade das estruturas dissipativas nascidas de um

desvio do equilíbrio e, finalmente, a história, o caminho evolutivo singular compassado por uma sucessão de bifurcações. A propósito de uma estrutura formada em consequência de uma *tal evolução*, *pode-se afirmar* que sua atividade é o produto da sua história e contém, portanto, a distinção entre passado e futuro. O anel fica, assim, fechado, e o mundo macroscópico é, por sua vez, capaz de nos fornecer o ponto de partida de que tínhamos necessidade para toda e qualquer observação. Resumamos esse esquema circular:



À reversibilidade inteiramente ideal da dinâmica clássica opõem-se dois estilos de devir que a irreversibilidade à qual a dinâmica alargada dá sentido, permite pensar. Um, *suspensão do passado*, corre mais provavelmente para o equilíbrio; o outro está aberto a um futuro mais propriamente histórico: é o das estruturas dissipativas que constituem a chance das singularidades aleatórias. Mas nenhuma necessidade lógica impunha que, na natureza, existissem realmente estruturas dissipativas; foi preciso o "fato cosmológico" de um universo capaz de manter certos sistemas longe do equilíbrio para que o mundo macroscópico fosse um mundo povoado de "observadores", isto é, uma *natureza*. Esse esquema não traduz, pois, uma verdade de ordem lógica ou epistemológica, mas a da nossa condição de seres macroscópicos num mundo mantido longe do equilíbrio. Ele traduz também a verdade histórica da *nossa física*, a qual se constituiu a propósito da descrição de comportamentos reversíveis e deterministas e lhes atribui hoje *não mais o papel de realidade fundamental mas o de quadro de referência*. Parece-nos essencial que esse esquema não suponha algum modo ou momento fundamental: cada um dos três modos entra na cadeia das implicações, o que traduz o novo tipo de coerência interna à qual pode aspirar a física contemporânea.

O esquema que acabamos de descrever articula descrições que, cada uma, antigamente, pretendia a proeminência. De maneira mais geral, quando se trate das descrições dos sistemas complexos, vivos e sociais, pelos quais nos interessamos hoje, é evidente que uma descrição "de sobrevôo" é mais do que nunca excluída, e que todo modelo teórico pressupõe a escolha da questão.

Trata-se de uma lição de sabedoria que é importante sublinhar. Com

efeito, as ciências ditas "exatas" têm hoje por função sair dos laboratórios onde, pouco a pouco, apreenderam a necessidade de resistir ao fascínio de uma busca da verdade geral da natureza. Elas sabem, de ora em diante, que as situações idealizadas não lhes darão a chave universal, pelo que devem, enfim, tornar a ser "ciências da natureza", confrontadas com a riqueza múltipla que, durante muito tempo, se acharam no direito de esquecer. Por isso, colocar-se-á para elas o problema do diálogo necessário com saberes preexistentes a respeito de situações familiares a cada um, problema esse a propósito do qual alguns quiseram estabelecer a singularidade das ciências humanas, quer para as elevar, quer para as rebaixar. Tal como as ciências da sociedade, as ciências da natureza não poderão mais, agora, esquecer o enraizamento social e histórico que a familiaridade necessária à modelagem teórica de uma situação concreta supõe. Importa, portanto, mais do que nunca não fazer desse enraizamento um obstáculo, não concluir da relatividade dos nossos conhecimentos por um relativismo desencantado qualquer. Na sua reflexão sobre a situação da sociologia, Merleau-Ponty havia já sublinhado essa urgência, a urgência de pensar aquilo a que chamava de "verdade na situação": "Enquanto guardo em minha posse o ideal de um espectador absoluto, de um conhecimento sem ponto de vista, não posso ver em minha situação senão um princípio de erro. Mas, se reconheci uma vez que, por ela, estou inserido em toda ação e todo conhecimento que possa ter um sentido para mim, e que ela contém, pouco a pouco, tudo o que pode *ser* para mim, então o meu contato com o social na finitude da minha situação revela-se-me como o ponto de origem de toda a verdade, inclusive a da ciência, e, já que temos uma idéia da verdade e estamos nela e dela não podemos sair, não me resta mais do que definir uma verdade na situação"¹⁹⁰.

Assim a ciência se afirma hoje como ciência *humana*, ciência feita por homens e para homens. No seio de uma população rica e diversa em práticas cognitivas, nossa ciência ocupa a posição singular de *escuta poética da natureza* — no sentido etimológico em que o poeta é um fabricante —, exploração ativa, manipuladora e calculadora, mas doravante capaz de respeitar a natureza que ela faz falar. É provável que esta singularidade continue a excitar a hostilidade daqueles para os quais todo cálculo e toda manipulação são suspeitos, mas não deviam muito legitimamente suscitar certos juízos sumários da ciência clássica.

4. *Um Turbilhão na Natureza Turbulenta*

Mantivemo-nos até aqui numa problemática propriamente científica. Entretanto, não há razão alguma de nos limitarmos a ela; sempre a filosofia procurou, por toda a parte onde as pudesse encontrar, o caminho de respostas às suas questões, e, por seu lado, a física teórica pode doravante compreender o sentido de certas questões filosóficas que se referem à situação do homem no mundo. Podemos, por exemplo, comentar a transformação dinâmica, desde o modelo dos sistemas estáveis, cujas trajetórias podiam ser

calculadas, até à descoberta da estabilidade fraca, por uma dupla referência filosófica: as mônadas leibnizianas e o clinâmen lucreciano, duas construções filosóficas entre as que foram criticadas como as mais arriscadas¹⁹¹. O clinâmen, que perturba "sem razão" as trajetórias dos átomos de Lucrecio, foi muitas vezes considerado como absurdo e inconseqüente; as mônadas de Leibniz, unidades metafísicas sem comunicação entre si, "sem janelas pelas quais algo possa entrar ou sair", foram qualificadas de "delírio lógico".

Ora, como vimos, constitui propriedade de todo sistema cujas trajetórias são exatamente calculáveis o fato de se lhe poder dar "uma representação privilegiada": em termos de entidades sem interação, de tal modo que cada uma delas desenvolve por sua própria conta, como se estivesse só no mundo, urn movimento pseudo-inercial. Cada uma traduz então, durante seu movimento, seu próprio estado inicial, mas coexiste com todas as outras numa harmonia preestabelecida. Nessa representação, cada estado de cada entidade, mesmo perfeitamente autodeterminado, reflete a cada instante o estado de todo o sistema nos seus menores detalhes. Nisso está uma definição da mônada leibniziana. Vamos mais longe: uma maneira rápida de descrever os estados estacionários constituídos pelas órbitas eletrônicas do átomo de Bohr é dizer que eles constituem outras tantas mônadas.

A partir de agora podemos traduzir a propriedade física descoberta pela dinâmica hamiltoniana sob esta forma: todo sistema integrável, no sentido definido no capítulo II, item 3, admite uma representação monádica. E, inversamente, a monadologia leibniziana pode ser traduzida em linguagem dinâmica: *o Universo é um sistema integrável*.

Deve falar-se de coincidência? A equivalência matemática entre a *representação newtoniana*, que faz apelo às massas e às forças, e a *representação monádica*, em que cada unidade desdobra, numa evolução espontânea, a lei interna do seu comportamento, não será no fundo a tradução, sob forma de propriedade físico-matemática, pelo fato de ambas repousarem sobre a mesma escolha filosófica, a preeminência outorgada ao ser sobre o devir, à permanência sobre a mudança? Leibniz, pai da dinâmica, não ignorava certamente o que Whitehead sublinhou¹⁹²: as forças newtonianas só estabelecem relações puramente exteriores entre as massas, das quais constituem apenas o suporte indiferente; elas são incapazes de causar um devir que não seja eterna e monótona repetição de uma verdade invariante.

Mas os processos de absorção e de emissão de fótons, fonte dos dados experimentais que estiveram na base da mecânica quântica, chegam só por si para restabelecer que isso não explica tudo: eles constituem, entre as órbitas eletrônicas "monádicas", uma interação que nenhuma transformação formal pode eliminar.

A física dos processos leva-nos a introduzir uma terceira representação, irreduzível às representações leibnizianas e newtonianas, a qual não descreve a mudança, nem em termos de unidades bem definidas mas autônomas e sem interação, nem em termos de unidade mal definidas (pois há energia potencial "entre" elas) e de suas interações. A terceira representação descreve unidades reais (fótons, elétrons) que, por definição, participam em processos díssipativos não-elimináveis por transformação. Essas unidades, contrariamente aos simples "suportes de forças" newtonianos, supõem a interação irreversível com o mundo, sua própria existência física é definida pelo devir no qual participam¹⁹³.

Sem prosseguir mais longe nestas perspectivas novas, fomos, a fim de reconhecer a convergência entre teoria física e doutrina filosófica a propósito da articulação entre ser e devir, denominar essa terceira representação de "whiteheadiana", Escreveu Whitehead:

"A elucidação do sentido da frase 'todas as coisas fluem' é uma das maiores tarefas da metafísica"¹⁹⁴. Física e metafísica encontram-se hoje para pensar um mundo onde o processo, o devir, seria constitutivo da existência física e onde, contrariamente às mônadas leibnizianas, as entidades existentes poderiam interagir e, portanto, também nascer e morrer.

Uma outra interrogação filosófica que podemos reler é a do materialismo dialético e da sua busca de leis universais, às quais responderia o devir dialético da natureza. Como para os materialistas, que queriam conceber uma natureza capaz de história, as leis da mecânica foram para nós um obstáculo; mas não as declaramos falsas em nome de um outro tipo de leis universais. Bem pelo contrário: quando descobrimos os limites do seu campo de aplicação, conservamos-lhes o seu caráter fundamental; elas constituem a referência técnica e conceptual que nos é necessária para descrever e definir o domínio onde elas já não são suficientes para determinar o movimento.

Esse papel da referência a um mundo legal e em ordem e, mais tecnicamente, à teoria monádica das evoluções paralelas é precisamente o papel que desempenha a queda, também ela paralela, legal e eterna, dos átomos lucrecianos no vazio infinito. Falamos já do clinâmen e da instabilidade dos fluxos fâminares. Apresenta-se aqui a possibilidade de uma interpretação menos ligada a este ou àquele fenômeno físico particular. Como demonstrou Serres¹⁹⁵, a queda infinita constitui um *modelo* para pensar a gênese natural, a perturbação que faz nascer as coisas. Sem o clinâmen, que vem perturbar a queda vertical e permite encontros, até mesmo associações de átomos até então isolados, cada um na sua queda monótona, natureza alguma poderia ser criada, pois somente se perpetuariam os encadeamentos entre causa e efeito equivalentes, sob o império das leis da fatalidade (*foedera fati*): *Denique si semper motus connectitur omnis et uetere exoritur (semper) nouus ordine certo nec declinando faciunt primordia motus principium quoddam quod fati foedera rumpat, ex infinito ne causam causa sequitur, libera per'terras unde haec animantibus exstat.,?™*

Poder-se-ia dizer que Lucrécio inventou o clinâmen, no mesmo sentido em que se inventam relíquias ou tesouros arqueológicos: "sabe-se" que estão lá

antes de escavar e de efetivamente os descobrir. E, da mesma forma, a física contemporânea inventou o tempo irreversível. Porque, se apenas existissem as trajetórias monótonas e reversíveis, de onde viriam os processos irreversíveis que nos criam e dos quais vivemos? Nós "sabíamos" que o tempo é irreversível, e é por isso que a descoberta da estabilidade fraca das trajetórias de certos sistemas constituiu fonte de inovação, oportunidade aproveitada para um alargamento da dinâmica.

A natureza começa onde as trajetórias deixam de ser determinadas, onde se quebram os *foedera fati* que regem o mundo em ordem e monótono das evoluções deterministas. Lá começa também uma nova ciência, que descreve o nascimento, a proliferação e a morte dos seres naturais. "A física da queda, da repetição, do encadeamento rigoroso é substituída pela ciência criativa do acaso e das circunstâncias"¹⁹⁷. Os *foedera fati* são substituídos pelos *foedera naturae*, dos quais Serres observa que tanto designam "leis" da natureza, ligações locais, singulares e históricas entre as coisas, como uma "aliança", um contrato com a natureza.

Encontramos assim, a respeito da física lucreciana, a ligação que descobrimos no interior do saber moderno entre as escolhas decisivas na base de uma descrição física, e uma concepção filosófica, ética ou religiosa respeitante à situação do homem na natureza. A física dos encadeamentos universais opõe-se a uma outra ciência que não luta mais contra a perturbação ou indeterminação em nome da lei e do domínio. Desde Arquímedes e Clausius, a ciência clássica dos fluxos se opõe à ciência das turbulências, das evoluções bifurcantes, à ciência que mostra que, longe dos canais, a perturbação pode fazer nascer as coisas, e a natureza, e os homens. "A sabedoria helênica atinge aqui um dos seus pontos mais altos. Onde o homem é no mundo, do mundo, na matéria, da matéria. Não é um estranho, mas um amigo, um familiar, um comensal e um igual. Mantém com as coisas um contrato venéreo. Muitas outras sabedorias e ciências são fundadas, ao invés, sobre a ruptura do contrato. O homem é um estranho ao mundo, à aurora, ao céu, às coisas. Odeia-as, luta contra elas. O meio que o circunda é um inimigo perigoso a combater, a manter em sujeição... Epicuro e Lucrécio vivem um universo reconciliado. Onde a ciência das coisas e a do homem convém na identidade. Eu sou o tumulto, um turbilhão na natureza turbulenta"¹⁹⁸.

5. Uma Ciência Aberta

Podemos igualmente entregar-nos a um outro tipo de releitura, desta vez centrada em torno do modo de desenvolvimento próprio da ciência. Descrevemos essa dinâmica interna da ciência em termos de panoramas bastante vastos, de questões postas e tornadas a pôr sem cessar, de mudanças a ritmo lento. Houve pouco de real irreversibilidade na história que contamos, poucas questões definitivamente abandonadas, prescritas. Muitas vezes se compara a evolução da ciência à das espécies, na sua descrição mais clássica: arborescên-

cia de disciplinas cada vez mais diversas e especializadas, progresso irreversível e unidirecional. Gostaríamos de propor passar da imagem biológica à geológica, porque aquilo que por nós foi descrito é antes da ordem do deslizamento que da mutação. Questões abandonadas ou negadas por uma disciplina passaram silenciosamente para outra, ressurgiram em um novo contexto teórico. Seu percurso, subterrâneo e de superfície, parece-nos manifestar o trabalho surdo de algumas questões que determinaram o estabelecimento de comunicação profunda para além da proliferação das disciplinas. E é muitas vezes nas interseções entre disciplinas, por ocasião da convergência entre vias de aproximação separadas, que são ressuscitados problemas que se julgavam resolvidos, que se pôde insistir, sob uma forma renovada, em questões antigas, anteriores à compartimentação disciplinar.

E característico, neste aspecto, que muitas das surpresas conceptuais produzidas pela evolução das ciências possam ver-se atribuir a atitude fatal de vinganças a longo prazo. A descoberta dos espectros de emissão e de absorção que provocou a introdução da noção de operador quântico e, portanto, o afastamento mais decisivo em relação à ciência clássica das massas e das trajetórias é, de certa maneira, a vingança dos antigos químicos, que não conseguiram, no seu tempo, fazer valer a especificidade da matéria química contra a generalidade da massa. A interseção da dinâmica e da ciência dos elementos químicos, a questão que eles colocavam ressurgiu e não pôde mais ser sufocada. E Stahl, por sua vez, será que não foi vingado, visto como na interseção fecunda entre físico-química e biologia de que nasceu a biologia molecular, pretendeu-se afirmar que o único processo biológico que a física pode deduzir de suas leis é a decomposição e a morte? Já falamos da desforra dos vencidos da ciência newtoniana: o anúncio fatal, bem no meio do triunfo dessa ciência, da lei matemática da propagação do calor que fará para sempre da físico-química uma ciência irreduzível à dinâmica clássica, uma ciência dos processos.

A história das ciências não tem a simplicidade atribuída à evolução biológica no sentido da especialização; é uma história mais sutil, mais retorcida, mais surpreendente. É sempre suscetível de voltar atrás, de encontrar, no seio de uma paisagem intelectual transformada, questões esquecidas, de desfazer as compartimentações por ela constituídas e, sobretudo, de ultrapassar os preconceitos mais profundamente enraizados, mesmo os que parecem ser-lhe constitutivos.

Uma tal descrição encontra-se em nítido contraste com a análise psicossocial através da qual Thomas Kuhn recentemente fez rejuvenescer certos elementos essenciais da concepção positivista da evolução das ciências: evolução no sentido de uma especialização e compartimentação crescentes das disciplinas científicas, identificação do comportamento científico "normal" com o trabalhador "sério", "silencioso", que não se demora em questões "gerais" sobre o significado global das suas pesquisas, e se limita aos problemas especializados da sua disciplina, autonomia essencial do desenvol-

vimento científico em relação aos problemas culturais, econômicos e sociais¹⁹⁹.

Não nos cabe pôr em causa o fundamento dessa descrição da atividade científica. Como quer que seja, basta-nos aqui sublinhar seu caráter parcial e historicamente situado. *Historicamente situado* quer dizer que a atividade científica corresponde tanto melhor à descrição de Kuhn quando é exercida no contexto das universidades modernas onde investigação e iniciação dos futuros investigadores estão sistematicamente associadas, isto é, no seio de uma estrutura acadêmica cujo aparecimento pode ser seguido ao longo do século XIX, mas que antes era inexistente. É realmente nessa estrutura que se encontra a chave do saber implícito, do "paradigma" de que Kuhn faz a base da investigação normal conduzida por uma comunidade científica. É refazendo, sob forma de exercício, os problemas-chaves resolvidos pelas gerações precedentes que os estudantes aprendem as teorias que fundamentam a investigação no seio de uma comunidade, mas também os critérios que definem um problema como interessante e uma solução como aceitável. A transição de estudante para investigador faz-se, nesse tipo de ensino, sem descontinuidade: o investigador continua a resolver problemas que identifica como essencialmente semelhantes aos problemas-modelos, aplicando-lhes técnicas semelhantes; simplesmente, trata-se de problemas que ninguém antes dele tinha resolvido. *Parcial* quer dizer que, mesmo em nossa época, na qual a descrição de Kuhn tem o mais alto grau de pertinência, ela só diz respeito, na melhor das hipóteses, a uma dimensão da atividade científica, mais ou menos importante segundo os investigadores individuais e o contexto institucional onde trabalham.

É a propósito da transformação do paradigma, tal como a concebe Kuhn, que poderemos precisar melhor esta observação. Essa transformação revestiria muitas vezes os aspectos de uma *crise*: o paradigma, em lugar de ser uma norma silenciosa, quase invisível, em vez de "ser inconteste", é discutido, questionado. Os membros da comunidade põem questões "fundamentais", interrogam a legitimidade dos seus métodos, em lugar de empenhar-se com unanimidade na resolução dos problemas reconhecidos por todos. O grupo, cuja educação o fizera homogêneo no que toca à atividade de investigação, se diversifica; as diferenças de pontos de vista, de experiências culturais e de convicções filosóficas surgem e desempenham muitas vezes um papel decisivo na descoberta de um paradigma novo. O aparecimento deste aumenta mais ainda a intensidade das discussões. Os respectivos domínios de fecundidade dos paradigmas rivais são postos à prova até que uma diferença amplificada e estabilizada pelos circuitos acadêmicos decida sobre a vitória de um deles. Pouco a pouco, com a nova geração de cientistas, o silêncio e a unanimidade se reinstalam, novos manuais se escrevem e, uma vez mais, considera-se que tudo é inconteste.

Nessa óptica, o motor da inovação científica é precisamente o comportamento intensamente conservador das comunidades científicas que aplicam à natureza, com obstinação, as mesmas técnicas, os mesmos conceitos, e acabam

sempre por encontrar de sua parte uma resistência bem tenaz: a natureza recusa exprimir-se na linguagem que as regras paradigmáticas supõem, e a crise que acabamos de descrever explode com tanto mais força quanto era cega a confiança. Por isso, todos os recursos intelectuais se consagram à pesquisa da nova linguagem em torno de um conjunto de problemas doravante considerados decisivos, a saber: os que suscitaram a resistência da natureza. Por conseguinte, as comunidades científicas provocam crises sistematicamente, mas apenas na medida em que as não procuram.

A questão que escolhemos para colocar à história das ciências conduziu-nos a explorar dimensões muito diferentes das que interessam a Kuhn. Foram sobretudo as continuidades que nos retiveram; não as continuidades "evidentes", mas as mais escondidas, questões a propósito das quais certos cientistas não pararam de se interrogar. Parece-nos não ser preciso procurar compreender por que se continuou, de geração em geração, a discutir sobre a especificidade dos comportamentos complexos, sobre a irredutibilidade da ciência do fogo e das transformações da matéria à descrição das massas e das trajetórias; parece-nos antes que a questão está em saber como tais problemas, os de Stahl, Diderot e Venel, puderam ser esquecidos.

Há um século que a história da física nos mostra, sem dúvida, umas crises que se parecem com as descrições de Kuhn, crises que os cientistas sofrem sem as terem procurado, crises às quais preocupações filosóficas puderam certamente servir de detonador, mas somente numa situação de instabilidade determinada pela tentativa infrutífera de estender um paradigma a certos fenômenos naturais. Mas ela nos mostra também seqüências de problemas engendradas de maneira lúcida e deliberada por preocupações filosóficas. E estabelece a fecundidade de uma tal diligência. O cientista não está votado a comportar-se como um sonâmbulo kuhniano; ele pode, sem renunciar, contudo, a ser um cientista, *tomar a iniciativa*, procurar integrar nas ciências perspectivas e questões novas.

Como toda história social, a história das ciências é um processo complexo, no qual coexistem acontecimentos determinados por interações locais, e projetos informados por concepções globais sobre a tarefa da ciência e a ambição do conhecimento. É também um história dramática de ambições frustradas, de idéias que malogram, de realizações desviadas do significado que deveriam revestir. Einstein, uma vez mais, pode servir-nos de exemplo, ele que, com a relatividade, a quantificação da energia e o modelo cosmológico, desferiu os primeiros golpes na concepção clássica do mundo e do conhecimento, enquanto seu projeto não cessou nunca de ser o retorno a uma descrição universal, completa e determinista do mundo físico. O que constituiu o drama de Einstein foi de fato essa distância não-dominável entre as intenções individuais dos atores e a significação efetiva que o contexto global empresta às suas ações.

6. *A Interrogação Científica*

Acabamos de propugnar que o caráter fundamentalmente aberto da ciência seja reconhecido, e que, em particular, a fecundidade das comunicações entre interrogações filosóficas e científicas deixe de ser negada por compartimentações ou destruída por uma relação de afrontamento. Falamos da "ratificação" filosófica das pretensões da ciência clássica, que permite a certos filósofos situar e congelar o procedimento científico, e se arrogar, por isso, o direito de o ignorar. Essa estratégia foi durante muito tempo dominante, apesar dos protestos como o de Maurice Merleau-Ponty, quando escreveu o que, de um certo ponto de vista, poderia constituir a melhor definição dos temas e objetivos deste livro:

"O recurso à ciência não precisa de ser justificado: seja qual for a concepção que se tenha da filosofia, ela tem que elucidar a experiência, e a ciência é um setor da nossa experiência... é impossível recusá-la antecipadamente sob o pretexto de que trabalha na linha de certos preconceitos ontológicos: se se trata de preconceitos, a própria ciência, na sua vagabundagem através do ser, encontrará efetivamente ocasião de os recusar. O ser abre passagem através da ciência como através de toda a vida individual. Ao interrogar a ciência, a filosofia conseguirá encontrar certas articulações do ser que, de outra forma, lhe seria mais difícil revelar"²⁰⁰.

Mas, se nenhum privilégio, nenhuma precedência, nenhum limite fixado definitivamente faz deter, de maneira estável, a diferença entre interrogações científica e filosófica, nem por isso se trata de identidade ou possibilidade de substituição entre elas. Julgamos que se trata da complementaridade de saberes que, nos dois casos, constituem a tradução, segundo regras mais ou menos rigorosas, de preocupações pertencentes a uma cultura e a uma época. A questão é, pois, a das regras, dos métodos, das coações.

Ao longo deste livro, exploramos algumas coações as quais a interrogação científica está sujeita. De um lado, o diálogo experimental limita em si mesmo a liberdade do cientista; este não faz o que quer, a natureza desmente as mais sedutoras das suas hipóteses, as mais profundas das suas teorias. Daí, entre outros efeitos, o ritmo lento da ciência, no que concerne à exploração conceptual, e a tentação, sempre presente, de extrapolar ao extremo os "sim" raros e limitados que foram obtidos da natureza. Viu-se que o "triunfo" da ciência das trajetórias tinha, realmente, por limite, um problema tão simples como o dos três corpos. Por outro lado, uma segunda coação, tão fecunda como a primeira, porém mais recentemente posta em evidência, é a interdição de fundar uma teoria sobre grandezas que são definidas como inobserváveis em princípio. E aí está uma virada interessante. A objetividade científica durante muito tempo fora definida como ausência de referência ao observador; de agora em diante, encontra-se definida por uma referência inultrapassável ao ponto de vista humano — uma referência ao homem, ou à bactéria por exemplo, esse outro habitante do mundo macroscópico cujo movimento

constitui claramente uma atividade exploratória, pois supõe a orientação no tempo e a capacidade de reagir irreversivelmente a modificações químicas do meio. A nossa ciência, por muito tempo definida pela busca de um ponto de vista de sobrevôo absoluto, descobre-se finalmente como ciência "centrada", cujas descrições por ela produzidas são situadas e traduzem nossa situação no seio do mundo físico.

É possível que a situação se apresente de maneira um pouco diferente em filosofia. Gostaríamos, a este respeito, de tentar um balanço e correr o risco de uma hipótese. No decurso deste estudo, encontramos inspiração junto de certo número de filósofos; citamos alguns deles que pertencem à nossa época — como Serres e Deleuze —, ou à história da filosofia — como Lucrecio, Leibniz, Bergson e Whitehead. Não temos intenção alguma de proceder a um amálgama qualquer, mas parece-nos que pelo menos um traço reúne os que nos ajudaram a pensar a metamorfose conceitual da ciência e suas implicações: é a tentativa de falar do mundo sem passar pelo tribunal kantiano, sem colocar no centro do seu sistema o sujeito humano definido pelas suas categorias intelectuais, sem submeter seus propósitos ao critério do que pode pensar, legitimamente, um tal sujeito. Em resumo, trata-se de pensadores pré-críticos ou acríticos.

Como avaliar o fato de termos encontrado inspiração junto de filósofos de um pensamento não centrado em volta do sujeito humano para refletir na descoberta pela física contemporânea do seu caráter centrado? A hipótese que gostaríamos de propor é a seguinte: para esses filósofos, trata-se igualmente de uma diligência *experimental*. Não de uma experimentação sobre a natureza, mas sobre os conceitos e suas articulações, de uma experimentação na arte de pôr os problemas e de seguir suas consequências com o maior rigor.

Whitehead exprimiu claramente essa concepção de experimentação filosófica, com seus graus de liberdade mas também com suas coações próprias. Assim, a filosofia não pode recorrer à estratégia que fundamenta o diálogo experimental da ciência com a natureza, a estratégia de escolher o que é interessante e o que pode ser negligenciado: "A filosofia destrói sua própria utilidade ao comprazer-se na brilhante façanha de explicar negando"²¹.

Em nossa hipótese, vê-se que não é preciso opor experimentações científicas e filosóficas como se oporia concreto e abstrato. Whitehead inverteu mesmo a oposição, reservando à filosofia a tarefa de produzir, pelo jogo dos conceitos, as experiências reais na sua riqueza concreta. E Deleuze vai ao ponto de falar, a propósito de uma tal ambição filosófica, de *empirismo*. "O empirismo não é de modo algum uma reação contra os conceitos, nem um simples apelo à experiência vivida. Ao contrário, empreende a mais louca criação de conceitos que jamais se viu ou ouviu. O empirismo é o misticismo do conceito, e seu matematismo. Mas precisamente ele trata o conceito como objeto de um encontro, como um aqui agora, ou antes, como um *Erewhon* (*N.B.* lugar utópico e, portanto, ao mesmo tempo "aqui e agora" e "parte nenhuma", imaginado por Samuel Butler), de onde saem, inesgotáveis, os

"aqui" e os "agora" sempre novos, distribuídos de outra forma. Apenas o empirista pode dizer: os conceitos são as próprias coisas, mas coisas em estado livre e selvagem, para lá dos "predicados antropológicos". Eu faço, refaço e desfaço meus conceitos a partir de um horizonte movediço, de um centro sempre descentrado de uma periferia sempre deslocada que os desloca e os diferencia". *Erewhon*, inobservável por excelência de onde surgem os aqui e agora, a multiplicidade das experiências reais; é esse, sem dúvida, um pensamento muito estranho para nós que fizemos da exclusão do que é inobservável, em princípio, o recurso de uma invenção nova. E, contudo, é pensando mesmo o inobservável, mônadas, clinâmen, objetos eternos, que, em certos casos, alguns filósofos "precederam" a ciência, exploraram os conceitos e suas implicações, bem antes que ela pudesse utilizá-los ou descobrir seu poder constrangedor. É esse, sem dúvida, o preço do risco assumido pelos que não se limitam a utilizar os poderes da imaginação de maneira heurística, para inspirar hipóteses experimentais e teóricas, mas os levam à sua mais alta intensidade, por uma exigência aguda de coerência e de precisão.

Ainda aqui, devemos sublinhar bem uma convergência em que se revela a coerência cultural de uma época. Os filósofos que citamos deram-nos, segundo a expressão de Deleuze¹⁹, os meios de passar "da ciência ao sonho e inversamente", pois conduziu-os "a imaginação que atravessa os domínios, as ordens e os níveis, abatendo os compartimentos, coextensiva ao mundo, guiando o nosso corpo e inspirando a nossa alma, apreendendo a unidade da natureza e do espírito". Mas, ao contrário, foi à natureza e às ciências dela que Deleuze fez apelo para descrever as forças da imaginação e escapar a toda a referência ao homem da filosofia tradicional, sujeito ativo, dotado de projetos, de intenções e de vontade. "A idéia, escreve ele, faz de nós larvas, tendo derrubado a identidade do Eu como pareçença do MÍm"^{21h4}. No momento de procurar compreender a "dramatização", o movimento terrível que sofre aquele de quem uma idéia faz sua presa, em quem uma idéia se encarna, é preciso pensar na larva, capaz de sofrer movimentos terríveis, marcas, deslizamentos, rotações (contrariamente ao organismo constituído, empenhado numa atividade estável); é preciso pensar nesses processos que procuram descrever as ciências da natureza. "A dramatização faz-se na cabeça do sonhador, mas também sob o olho crítico do sábio"^{20*}; a dramatização psicológica encontra seus ecos nos processos geológicos, geográficos, biológicos e ecológicos, que criam os espaços, modelam e confundem paisagens, aí determinando migrações, competições ou amplificações mútuas entre processos de crescimento, proliferações, lentas erosões e desintegrações brutais.

7. As Metamorfose da Natureza

A metamorfose das ciências contemporâneas não é ruptura. cremos, ao contrário, que ela nos leva a compreender a significação e inteligência dos saberes e de práticas antigas que a ciência moderna, orientada pelo modelo de

uma fabricação técnica automatizada, havia acreditado poder negligenciar. Assim, Michel Serres evocou muitas vezes o respeito que camponeses e marinheiros nutrem pelo mundo de que vivem. Eles sabem que não se manda no tempo e que não se empurra o crescimento dos seres vivos, esse processo de transformação autônomo a que os gregos chamavam *physis*. Neste sentido, nossa ciência se transformou, enfim, em ciência física, pois admitiu, finalmente, a autonomia das coisas, *e não somente das coisas vivas*. Na introdução, falávamos do "novo estado de natureza" que a atividade humana contribuiu para fazer existir. Como o desenvolvimento das plantas, o desenvolvimento dessa nova natureza, povoada de máquinas e técnicas, o desenvolvimento das práticas sociais e culturais, o crescimento das cidades são desses processos contínuos e autônomos sobre os quais se pode certamente intervir para os modificar ou organizar, mas de que se deve respeitar o tempo intrínseco, sob pena de malogro²⁰⁶. O problema posto pela interação das populações humanas e de máquinas não tem nada em comum com o problema, relativamente simples e dominável, da construção desta ou daquela máquina. O mundo técnico que a ciência clássica contribuiu para criar necessita, para ser compreendido, de conceitos bem diferentes dos dessa ciência.

No momento em que descobrimos a natureza no sentido de *physis*, podemos igualmente começar a compreender a complexidade das questões com as quais se confrontam as ciências da sociedade. No momento em que aprendemos o "respeito" que a teoria física nos impõe para com a natureza, devemos aprender igualmente a respeitar as outras abordagens intelectuais, quer sejam as tradicionais, dos marinheiros e camponeses, quer as criadas pelas outras ciências. Devemos aprender, não mais julgar a população dos saberes, das práticas, das culturas produzidas pelas sociedades humanas, mas a cruzá-los, a estabelecer entre eles comunicações inéditas que nos coloquem em condições de fazer face às exigências sem precedentes da nossa época.

Que mundo é esse a propósito do qual reaprendemos a necessidade do respeito? Evocamos sucessivamente a concepção do mundo clássico e do mundo em evolução do século XIX. Em ambos os casos, tratava-se de dominação e do dualismo que opõe o controlador e o controlado, o dominador e o dominado. Quer a natureza seja um relógio ou um motor, ou ainda o caminho de um progresso que conduza até nós, ela constitui uma realidade estável de que é possível assegurar-se. O que dizer do nosso mundo que alimentou a metamorfose contemporânea da ciência? É um mundo que podemos compreender como natural no próprio momento em que compreendemos que fazemos parte dele, mas do qual se desvaneceram, de repente, as antigas certezas: quer se trate de música, pintura, literatura ou de costumes, nenhum modelo pode mais pretender a legitimidade, nenhum é mais exclusivo. Por toda a parte vemos uma experimentação múltipla, mais ou menos arriscada, efêmera ou bem-sucedida.

Este mundo que parece renunciar à segurança de normas estáveis e permanentes é, sem dúvida, um mundo perigoso e inseguro. Ele não pode

nos inspirar uma confiança cega, mas talvez, de fato, o sentimento de esperança mitigada que certos textos talmúdicos, segundo parece, atribuíram ao Deus do Gênesis: "Vinte e seis tentativas precederam a gênese atual, e todas foram votadas ao insucesso. O mundo do homem saiu do seio caótico desses destroços anteriores, mas ele próprio não possui qualquer marca de garantia: também ele está exposto ao risco do fracasso e do regresso ao nada. "Contanto que este se mantenha" (Halway Shéyaamod), exclama Deus ao criar o mundo, esse voto acompanha a história ulterior do mundo e da humanidade, sublinhando desde o início que essa história está marcada com o sinal da insegurança radical"²⁰⁷.

É este o clima cultural que alimenta e amplia a descoberta de objetos insuspeitáveis, quasares de energias formidáveis, buracos negros fascinantes; a descoberta também, em terra, da diversidade das experiências que a natureza realiza; enfim, a descoberta teórica dos problemas de instabilidades, de proliferações, de migrações, de estruturas. Onde a ciência nos tinha mostrado uma estabilidade imutável e pacificada, compreendemos que nenhuma organização, nenhuma estabilidade, como tal, é garantida ou legítima, nenhuma se impõe por direito; todas são produtos das circunstâncias e estão à mercê delas.

Por conseqüência, Jacques Monod tinha razão: a antiga aliança animista está morta e bem morta, e, com ela, todas as outras que nos apresentavam como sujeitos voluntariosos, conscientes, dotados de projetos, fechados numa identidade estável e de costumes bem estabelecidos, cidadãos no seio de um mundo feito para nós. Está bem morto o mundo finalizado, estático e harmonioso que a revolução copernicana destruiu quando lançou a Terra nos espaços infinitos. Mas o nosso mundo também não é o da "aliança moderna". Não é o mundo silencioso e monótono, abandonado pelos antigos encantamentos, o mundo relógio sobre o qual recebêramos jurisdição. A natureza não foi feita para nós, e não foi entregue à nossa vontade. Como Jacques Monod nos anunciava, chegou o tempo de assumir os riscos da aventura dos homens; mas, se podemos fazê-lo, é porque, doravante, é esse o modo da nossa participação no devir cultural e natural, é essa a lição que a natureza enuncia quando a escutamos. O saber científico, extraído dos sonhos de uma revelação inspirada, quer dizer, sobrenatural, pode descobrir-se hoje simultaneamente como "escuta poética" da natureza e processo natural nela, processo aberto de produção e invenção, num mundo aberto, produtivo e inventivo. Chegou o tempo de novas alianças, desde sempre firmadas, durante muito tempo ignoradas, entre a história dos homens, de suas sociedades, de seus saberes, e a aventura exploradora da natureza.

Notas

1. MONOD, J. *Lê Hasard et la necessite*. Paris, Seuil, 1970, pp. 194-195.
2. A propósito do movimento da bactéria, leia-se ADLER, J. The Sensing of Chemicals by bactéria, em *Scientific American*, abril 1976, pp. 40-47.
3. POPPER, K. *Objective Knowledge*, Oxford. Clarendon Press, 1972; trad. franc.: *La Connaissance objective*. Bruxelas, Complexe, 1978.
4. MONOD, j. *of>*. ei/., pp. 141-143. Aparecerá no seguimento o quanto esta descrição de Monod pode entrar em ressonância com as idéias de instabilidade e bifurcação. Sublinhemos que não se trata aqui, evidentemente, senão de metáforas. Importa não sobrecarregar o que um dia talvez se tornará uma questão precisa com o peso prematuro de uma qualquer "autoridade" científica.
5. FORMAN, P. "Weimar Culture, Causality and Quantum Theory, 1918-1927; Adaptation by German Physicists and Mathematicians to a Hostile Intellectual Environment", in *Histórica! Studies in Physical Sciences*, vol. 3, 1971, pp. 1-115.
6. Ver, por exemplo, as notáveis páginas de Arthur Eddington em *The Sature of the Physical World*. Ann Arbor Paperbacks, Michigan Press. 1958, pp. 68-80.
7. Esta expressão foi empregada por Serge Moscovici, e constitui um tema central do que ele anuncia sob o nome de "revolução kepleriana" das ciências, em "Quelle unité de !'homme?", na obra *Hommes domestiques et hommes sauvages*. Paris, Christian Bourgois, 10-18, 1974.
8. SCHRÖDINGER.E., artigo publicado em *The British Journal for tke Philosophy of Science*, vol.3, pp. 109-110, 1952, e citado com indignação por P.W.BRJDGMANN em sua contribuição para *Determinam and Freedom in the Age of Modem Science*, ed. HOOK, S. Nova York, University Press, 1958.
9. EINSTEIN, A. "Prinzipien der Forschung, Rede zu 60. Geburtstag von Max Planck" (1918), em *Mein WeltbÜd*. Ullstein Verlag 1977, pp. 107-110. trad. franc.: "Lês principes de la recherche scientifique", em *Commentje vois lê monde*. Paris, Flammarion, 1958, pp. 139-140.

10. Com o risco de voltar ao mundo dos mágicos; não deixa de ser significativo que reapareça a idéia do saber otimamente secreto, contra a qual as ciências modernas se constituíram, enquanto que em física, como em biologia, podemos obter efeitos *desmedidos*. Contra os alquimistas e os magos, os cientistas-engenheiros da época moderna negaram esta possibilidade, negaram que as manipulações da natureza possam produzir outra coisa que não sejam efeitos proporcionais àquilo que aí tenhamos investido de ação causai.
11. O termo *finaliação* foi introduzido na sociologia alemã das ciências pelo grupo de Starnberg. Ver, p. ex., BÖHME, G., VAN DEN DAELE, W., KROHN, W. "Die Finalisierung der Wissenschaft", em *Zeitschrift für Soziologie*, Jg. 1, Heft 2, 1973, pp- 128-144.
12. MOSCOVICI, S. *Essai sur l'histoire humaine de la nature*. Paris, Flammarion, "Champs", 1977.
13. "A natureza e suas leis jazem ocultas na noite. Deus disse: Que Newton exista! E tudo se fez luz."
14. A natureza oprimida se submete ao seu espírito penetrante e lhe mostra com prazer todos os seus meandros secretos; contra as matemáticas ela não se pode defender e cede à dedução experimental". DESAGULIERS, J.T. *The Newtonian System of the World, The Best Model of Government: an Allegorical Poem*, 1728. citado em FAIRCHILD, H.N. *Religious Trends in English Poetry*, vol. I. Nova York, Columbia University Press, 1939, p. 357.
15. "Como ministros atentos a cada um dos seus olhares, seis mundos rodeiam o seu trono numa dança mística. Curva o curso divergente do seu movimento, e, por forças atrativas, subjuga suas órbitas; seus poderes, limitados por leis, os deixam no entanto livres; comanda, mas não lhes destrói a liberdade." DESAGULIERS, J.T. *op. cit.*, p. 358.
16. Gerd Buchdahl sublinha e ilustra a ambigüidade do modelo newtoniano, em sua dimensão ao mesmo tempo empirista (*Óptica*) e sistemática (*Principia*) em *The Image of Newton and Locke in the Age of Reason*, Newman History and Philosophy of Sciences Series. Londres, Sheed and Ward, 1961. No que respeita ao uso metafórico dos conceitos newtonianos nos princípios do século XIX, remetemos para o excelente livro de Judith SCHLANGER. *Lês Me'taphoTes de l'organisme*. Paris, Vrin, 1971, pp. 36-45 e 99-108.
17. "... Que Deus nos guarde de ver com um só olho e de dormir o sono de Newton!"
18. *La Science et la diversité des cultores*, UNESCO. Paris, P.U.F., 1974, pp. 15-16.
19. MONOD, J. *Le Hasard et la necessite*, pp. 187-188. Ver também o livro de GILLIPSIE, C.C. *The Edge of Objectivity*. Princeton, University Press, 1970, que escreve uma história das ciências centralizada no progresso da objetividade científica e na luta contra diferentes movimentos anticientíficos sempre engendrados por um desejo de segurança e dependência.
20. HEIDEGGER, M. "Die Frage nach der Technik", in *Vorträge und Aufsätze*, \eske Verlag, 1954; trad. franc.: "La question de la technique", em *Essais et Conférences*. Paris, Gallimard, 1958, pp. 21-22.
21. *Ibid.*, p. 21; trad. franc., p. 29.

22. PAUWELS, L. e BERGIER, J. *Lê Matin des magiciens*. Paris, Lê Livre de Poche, 1970. p. 46.
23. PAUWELS, L. e BERGIER, J., *op. cit.*, pp. 48-49.
24. RUYER, R. *U Gnose de Princeton*. Paris, Fayard, coleção Pluriel, 1977.
25. PAUWELS, L. e BERGIER, J., *op. cit.*, p. 56.
26. KOIRÉ, A. *Éludes newloniennes*. Paris, Gallimard, 1968, pp. 42-43.
27. SNOW, C.P. *The two Cultures and a Second Looh*, Cambridge University Press, 1964; trad. franc.: *Lês deux cuttures*. Paris, Pauvert, 1968.
28. Em "Race et histoire" (*Anthropologie structurale* 2. Paris, Plon, 1973), Claude Lévi-Strauss discutiu as condições sob as quais podemos aproximar revolução neolítica e revolução industrial. O modelo que introduz a esse respeito, em termos de reações em cadeia iniciadas por catalisadores — processos marcados por sua cinética singular, com fenômenos de limiares e pontos singulares —, dá a garantia de uma afinidade possível entre as problemáticas de estabilidade e instabilidade que expomos no capítulo VIII e certos temas do que chamaram, em termos corretos mas restritivos, de abordagem estrutural em antropologia. Essa possibilidade é objeto de um estimulante desenvolvimento de Gilles Deleuze, num artigo consagrado ao estruturalismo (em CHATELET, F. *Histoire de la philosophie*, vol. 8. Paris, Hachette, 1973). Ela constitui o objeto dos trabalhos daqueles a quem se chamará mais tarde, sem dúvida, de estruturalistas post-comünanos (A. Moles, M. Serres e alguns outros, abertos às abordagens cinética e estatística).
29. "No seio de cada sociedade, a ordem do milo exclui o diálogo: não se discutem os mitos do grupo, antes se transformam julgando repeti-los" (Claude Lévi-Strauss, *Mythologiques* 4. Paris, Plon, 1971, p. 585). O discurso mítico distingue-se, portanto, dos diálogos críticos (filosóficos ou científicos), mas é mais em função das suas condições práticas de reprodução do que por causa de uma inaptidão radical destes ou daqueles emissores para o pensamento racional. Dir-se-á que a prática do diálogo crítico imprimiu aos discursos cosmológicos verdadeiros uma espetacular aceleração evolutiva.
30. Inspiramo-nos, nos parágrafos que seguem, nas análises de VERNANT, J.P. *Mythe et pensée chez lês Grecs*. Paris, Maspéro; e em DETIENNE, M., VERNANT, J.P. *Lês Ruses de l'intelligence. Ia Métis dês Grecs*. Paris, Flammarion, 1974.
31. É o tema mais importante de Koyré, designadamente nos seus *Etudes galiléennes* (Paris, Hermann, 1966).
32. Alexandre Koyré insistiu muito sobre este ponto: nos seus primórdios, a ciência moderna leve de lutar não somente contra a tradição metafísica reinante, mas contra a tradição empírico-técnica (designadamente em "La dynamique de Nicolo Tartaglia", em *Éléments d'histoire de Ia pensée identifique*. Paris, Gallimard, 1913). Esclareçamos que esta observação, em nossa opinião, não implica de maneira alguma que o saber artesanal desenvolvido na Idade Média não seja uma das razões do saber científico moderno.
33. Os esforços feitos por engenheiros, até ao século XX, na construção de uma máquina de movimento perpétuo testemunham a notável persistência desta idéia: um dispositivo ardilo-

- só pode *virarás* princípios que regem nossas trocas com a natureza. Ver ORD-HUME. A. *Perpetuai \fotion. The History of an Obsession*, Nova York. St. Martin's Press, 1977.
34. É essa paixão pelo risco inseparável do jogo experimental que Popper traduziu em princípios normativos em *La logique de la découverte identifique* quando enunciou que o homem de ciência *deve* procurar as hipóteses menos prováveis, quer dizer, as mais arriscadas, e tentar refutá-las.
 35. A questão dos primórdios da ciência moderna é um dos pontos onde a insignificância de uma história das ciências que se limite aos fatores científicos é mais clara. Dito isto, como abrir a história das ciências? Duas tradições se afrontam: a dos Needham, Bernal, Hogben, Haldane, historiadores ingleses para quem o encontro com os historiadores soviéticos em 1931 teve um papel seminal (segundo congresso internacional da história das ciências e da tecnologia. Londres, 1931, publicado sob o título *Science at the Cross Road*, reeditado em Londres em 1971, Frank Cass Edition); fundada por Koyré, para quem a ciência, fenômeno intelectual, deve ser explicada por fatores intelectuais e, no caso, pelo renascimento de uma forma de platonismo. Para fazer o balanço desta situação, consulte-se o artigo de Rupert Haü, "Merton revisited" em *Science and Religious Belief, a Selection of Recent Historical Studies*, ed. RUSSELL C.A., Londres, The Open University Press and University of London Press, 1973.
 36. Pierre Thuillier insistiu contra Koyré sobre a importância da prática dos construtores de máquinas, designadamente no que concerne à concepção de um espaço homogêneo e isotrópico. Ver nomeadamente "Au commencement était la machine", em *La Recherche*, vol.63, janeiro de 1976, pp. 47-57.
 37. NEEDHAM, J. *La Science chinoise et l'Occident. Le grand Tirage*. Paris, Seuil, coleção Poüm, 1977, nomeadamente o capítulo "Science et société à l'Est et à l'Ouest".
 38. A escolha que aqui fizemos de comentar o papel de fatores não-científicos não deve dissimular o profundo interesse da ciência medieval, no decurso da qual se preparam nomeadamente a síntese da aritmética e da geometria diante da qual os gregos falharam, a matematização do movimento no mundo sublunar e a introdução da causalidade física no mundo celeste.
 39. WHITEHEAD, A.N. *Science and the Modern World*. The Free Press. Nova York, Mac Millan, 1967, p. 12.
 40. WHITEHEAD, A.N. *op. cit.*, e *Adventure of Ideas*. The Free Press, Nova York, Mac Millan, 1967.
 41. KOJÈVE, A. "L'Origine chrétienne de la science moderne", em *L'Aventure de l'esprit*. Mélanges Koyré, Paris, Hermann, 1964.
 42. NEEDHAM, J. *op.cit.*, p. 221.
 43. NEEDHAM, J., *op. cit.*, p. 243.
 44. R. HOOYKAAS sublinhou essa "de-divinização do mundo" operada pela metáfora cristã do mundo-máquina em *Religion and the Rise of Modern Science*. Edimburgo e Londres, Scouish Academic Press, 1972, designadamente pp. 14-16. Jacques ROGER (*Les Sciences de la vie*)

La pensée française du XVIII^e siècle. Paris, Armand Colin, 1971) descreveu a afinidade em biologia entre o agostinismo e o mecanicismo que, ambos, insistem em "tudo tirar à natureza para tudo dar a Deus".

45. "Um melancólico, desprovido de som, cheiro, cor, simplesmente da matéria que se apressa sem fim, sem significado", WHITEHEAD, A. N., *Science and the Modern World*, pr. 54.
46. O célebre texto de Galileu a propósito da natureza escrita em caracteres geométricos figura em // *Saggiatore* e é citado por Koyré no seu "Galilée et Platon", em *Études d'histoire de la pensée identifique*, p. 186. Ver também *Dialogues des deux grandes systèmes du monde* e o estudo de Koyré sobre esse texto em *Études galiléennes*, pp. 277-290.
47. Maurice Merleau-Ponty sublinhou a unidade cultural dessa época, unidade de que a ciência é parte integrante: "O século XVII é o momento privilegiado em que o conhecimento da natureza e da metafísica julgaram encontrar um fundamento comum. Criou a ciência da natureza e, contudo, não fez do objeto da ciência o cânon da ontologia... O Ser não é totalmente abatido ou rebaixado no plano do Ser exterior. Há também o ser do sujeito ou da alma e o ser das suas idéias e as relações das ciências entre elas; e esse universo é tão grande quanto o outro... Todos os problemas que uma ontologia cientista suprimirá instalando-se sem crítica no ser exterior como meio universal, a filosofia do século XVII, ao contrário, não cessa de os colocar" (*Éloges de la philosophie*. Paris, Gallimard, col. Idées, 1960, pp. 218-219).
48. Em todo o caso, triunfante na França e nas Academias impostas na Prússia e na Rússia por soberanos absolutos. Ben David (*The Scientist's role in Society. A Comparative Study*. Foundations of Modern Sociology Series, Englewood Cliffs, Nova Jersey, Prentice Hall, 1971) insistiu sobre a diferença entre a situação dos físicos-matemáticos desses países que se consagram à ciência pura, atividade prestigiosa mas puramente teórica, e a dos físicos ingleses, imersos numa multitude de problemas empíricos e técnicos. Ben David propõe uma correlação entre o fascínio por uma ciência puramente teórica e a manutenção longe do poder da classe social que nutre o "movimento cientista" e vê na ciência a promessa de um progresso social e material.
49. Na sua biografia de d'Alembert (*Jean d'Alembert, Science and Enlightenment*, Oxford, Clarendon Press, 1970), Thomas Hankins sublinhou o caráter muito restrito, e já então fechado, da primeira verdadeira comunidade científica no sentido moderno, a dos físicos-matemáticos do século XVIII, e as relações estreitas que ela manteve com os soberanos absolutos.
50. EINSTEIN, A, *op cit.*, pp. 108-109 (trad. franc., pp. 140-141).
51. Como veremos no capítulo III, sob este ponto de vista, o sucesso de um certo kantismo é a justificação das interpretações mais triunfalistas do progresso científico, no quadro de uma nova coerência de que o homem — e não Deus — passa a ser o centro.
52. "A nova filosofia tudo põe em dúvida. O elemento do fogo é posto de lado inteiramente, o sol está perdido, e a terra também, e homem algum sabe onde ir procurá-lo. E os homens proclamam livremente que este mundo está esgotado, quando buscam tantas novidades nos planetas e no firmamento; vêem então que tudo está de novo pulverizado em átomos, tudo está em bocados; não há mais coerência". DONNE, J. *An Anatomy of the world*, 161 l.
55. A este respeito, ver HANKINS, T. "The Reception of Newton's Second Law of Motion in the Eighteenth Century", em *Archives internationales d'Histoire des Sciences*, vol. XX, 1967, pp. 42-65; COHEN, I. L. "Newton's Second Law and the Concept of Force in the Principia"

Londres. Longmans, 1871; a seu respeito ver também DAUB, E.E., Maxwell's Demon, in *Studies in History and Philosophy of Science*, volume I, 1970, pp. 213-227, e, no mesmo volume, consagrado a Maxwell, HEIMANN, P., Molecular Forces, Statistical Representation and Maxwell's Demon, pp. 189-211.

165. Em *Différence et répétition* (Paris, Puf, 1972, pp. 288-314), Gilles Deleuze mostra a aliança ciência-bom senso-filosofia que prevaleceu enquanto o segundo princípio permaneceu como princípio geral, que tudo explica mas não justifica nada. A versão nietzschiana do energetismo que apresenta constituía efetivamente, no *quadro da termodinâmica de equilíbrio* (que só tem necessidade da irreversibilidade para garantir a estabilidade dos estados de equilíbrio), o ponto de vista coerente.
166. Parece que muitos filósofos marxistas da natureza se inspiram em Engels (retomado por Lênin em *Caderno Filosófico*), que escrevia em *Anti-Dühring* (Paris, Editions Sociales, 1971, p.150) que "o próprio movimento é contradição; já a simples mudança mecânica de lugar em si não pode realizar-se senão porque, num só e mesmo momento, um corpo está ao mesmo tempo num e noutro lugar, num só e mesmo lugar, e não em si".
167. Ver, a este respeito, BRUSH, S., *Statistical Physics and Irreversible Processes*, nomeadamente pp. 616-625.
168. Ver, a propósito das hipóteses que permitem testar certos modelos que supõem variáveis ocultas, ESPAGNAT, B. d', *Conceptual Foundations of Quantum Mechanics*, 2ª ed. aumentada, Reading Massachusetts. Benjamin, 1976.
169. L. Feuer mostrou de maneira bastante convincente (*Einstein et le conflit des générations*. Bruxelas, éditions Complexe, 1978) como o contexto cultural da mocidade de Bohr pudera facilitar a sua decisão de introduzir no seu modelo postulados deliberadamente não-mecânicos.
170. HEISENBERG, W., *La Partie et le tout*. Paris, Albin Michel, 1972, e SERWER, D., Unmechanischer Zwang: Pauli, Heisenberg and the Rejection of the Mechanical Atom, 1923-1925, em *Historical Studies in the Physical Sciences*, vol. 8, 1977, pp. 189-256.
171. O princípio de complementaridade, sua significação e suas dificuldades são estudados designadamente em ESPAGNAT, B. d', *op. cit.*, e *Conceptions de la physique contemporaine*. Paris, Hermann, 1965; JAMMER, M., *The Philosophy of Quantum Mechanics*. Nova York, Wiley, 1974; PETERSEN, A., *Quantum Mechanics and the Philosophical Tradition*, Boston, MIT Press, 1968.
172. Rosenfeld insistiu muito especialmente sobre a dimensão materialista da idéia de que não podemos conhecer o mundo senão por imencções irreversíveis. Ver ROSENFELD, L. "L'évidence de la complémentarité", em *Louis de Broglie, Physicien et penseur*. Paris, Albin Michel, 1953; "The Measuring Process in Quantum Mechanics", em *Supplement of the Progress of Theoretical Physics*, 1965, p. 222, e ao longo do colóquio *Observation and Interpretation*, ed KÖRNER S., Londres, Butterworth's Scientific Publication, 1957.
173. A propósito destes paradoxos, ver os livros de Jammer e de Espagnat. De maneira notável, todos estes paradoxos (amigo de Wigner, gato de Schrödinger, universos múltiplos) fazem ressurgir, sob formas aparentemente revolucionárias, cada um à sua maneira, a eterna Fênix da teoria "objetiva e fechada", no caso concreto encarnada pela equação de Schrödinger. Estes são outros tantos pesadelos da razão clássica.

174. Para uma exposição de conjunto, consultar LEBOWITZ, J. e PENROSE, O., Modern Ergodic Theory, em *Physics Today*, fevereiro de 1973, pp. 23-29. Para um estudo mais datilhado, ver BALESCU, R., *Equilibrium and Non-Equilibrium Statistical Mechanics*. Nova York, Wiley, 1975.
175. ARNOLD, V. I. e AVEZ, A., *Problèmes ergodiques de la mécanique classique*. Paris, Gauthiers Villars, 1967.
176. POINCARÉ, H., *Les Méthodes nouvelles de la mécanique céleste*. Nova York, Dover, 1957, e WHITTAKER, E.T., *A Treatise on the Analytical Dynamics of Particles and Rigid Bodies*. Cambridge University Press, 1937 (reimpresso em 1965).
177. MOSER, J., *Stable and Random Motions in Dynamical Systems*. Princeton, University Press, 1974.
178. POINCARÉ, H., Le hasard, em *Science et Méthode*. Paris, Flammarion, 1914, p. 65.
179. O operador L tem a forma $L = i(dH/Bg \tilde{O}/dp - \tilde{O}H/\partial p \partial \epsilon/q)$.
180. Para uma exposição mais detalhada e outras referências a propósito do que se segue, ver PRIGOGINE, L., *From Being to Becoming*. San Francisco, Freeman, a aparecer em 1979 (versão francesa a publicar nas edições Masson em 1980).
181. Lembremos simplesmente que $J \gg A \int p J f d\epsilon = J'' p A A p J p \tilde{a} q = J(p)^l dp dq$.
182. GEORGE, C. e PRIGOGINE, L., *Coherence and Randomness in Quantum Theory*, a aparecer em 1979.
183. As orientações deste livro esposam com fortunas diversas as diferentes correntes da vaga cultural chamada de estruturalista. Encontraremos, sem surpresa, uma porção de temas que nos são familiares em autores sensíveis à problemática do *mói dissons* (Lá ou c'était plusieurs sont venus). Esse estruturalismo estatístico ou molecular (A. Moles, Cl. Lévi-Strauss, J. Laçã n, R. Jakobson) apresenta uma afinidade extraordinária com a vanguarda do grande positivismo dos anos 1900 (ver, por exemplo, WUNBERG, G., *Der frühe Hofmannstahl* Stuttgart, W. Kohlhamer Verlag, 1965). Para as relações lógicas fortes que unem entre si as partes participantes nas análises de outros autores, diremos que elas procedem de um espírito molar que caracteriza esses nossos objetos culturais que são os pedestais epistemológicos de Foucault e as estruturas cognitivas de Piaget (ver a propósito PRIGOGINE. I. *Gênese des structures en physico-chimie, en épistémologie génétique et équilibration*. Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, 1977). O problema que escapa a estes últimos autores é o de saber que relação os objetos levados em consideração na análise (complexos, formas, estruturas, etc.) são suscetíveis de manter com perturbações, ruídos, processos que lhe são mais ou menos intrínsecos. O matemático dirá que é o problema da relação entre as *estruturas algébricas* e os *grandes números*. Estes últimos podem, eles mesmos, ser verificados pela análise infinitesimal ou escapar a seus cálculos de uma maneira ou de outra: onde se encontra a subversão do princípio leibniziano de razão suficiente pelos enunciados de R. Musil sobre o princípio de razão insuficiente. O leitor não se admirará aqui de nos ver remetê-lo, uma vez mais, para os trabalhos de M. Serres.
184. BRUSH, S., Irreversibility and Indeterminism: from Fourier to Heisenberg, *Journal of the History of Ideas*, vol. 37. 1976, pp. 603-630.

185. MOSCOVICI, S., Quelle unité de l'homme? (citado aqui na p. 210), pp. 297-298.
186. Texto retomado em BERGSON, H., *Métanges*. Paris, P.U.F., 1972, pp. 1340-1346
187. *Correspondance Albert Einstein-Miehele Besso, 1903-1955*. Paris, Hermann, 1972.
188. Artigo Husserl em *Encyclopedia Universalis*. Paris, 1971, retomado com La crise de l'humanité européenne et la philosophie de Husserl, pelas reedições Paulet. Paris, 1975. Este pequeno fascículo testemunha que a idéia de "missão humana do Ocidente" não é apanágio apenas dos cientistas.
189. MERLEAU-PONTY, M., *Resumes de Cours 1952-1960*. Paris, Gallimard, 1968, p. 119.
190. MERLEAU-PONTY, M., "Lê philosophe et la sociologie". em *Étoge de la philosophie*. Coleção Idées. Paris, Gallimard, 1960, pp. 136-137.
191. Sobre tudo o que se segue, ver também PRIGOGINE, I., STENGERS, I. e PAHAUT, S., La dynamique, de Leibniz à Lucrèce, em *Critique*, vol. 35, janeiro de 1979, pp. 35-55.
192. Remetemos a este propósito para LECLERC, I., *Whitehead's Metaphysics*, Bloomington* Indiana University Press, 1975.
193. Essas perspectivas são desenvolvidas em PRIGOGINE, L., *From Being to Becoming*, a publicar. São Francisco, Freeman, 1979.
194. WHITEHEAD, A.N., *Process And Reality*, pp. 240-241.
195. SERRES, M., *La Naissance de La Physique dans le texte de Lucrèce*, p. 139.
196. LUCRECIO, *De la Mature*, tradução ERNOUT, A., *Lês Beltes Lettres*, Paris, 1972: "Enfim, se os movimentos são sempre solidários, se um movimento novo sempre nasce de um mais antigo seguindo uma ordem inflexível, se por sua declinação os átomos não tomassem a iniciativa dum movimento que rompe as leis do destino, de onde viria essa liberdade concedida na terra a tudo o que respira...?"
197. SERRES, M., *op. cit.*, p. 136.
198. SERRES, M., *op. cit.*, p. 162.
199. KUHN, T., *The Structure of Scientific Revolutions*, 2; edição aumentada. Chicago, The University Press, 1970; tradução francesa, *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion, 1970.
200. MERLEAU-PONTY, M., *Resumes de cours 1952-1960*, pp. 117-118.
201. WHITEHEAD, A.N., *Process and Reality*, p. 20
202. DELEUZE, G. *Différence et répétition*, p. 4.

203. DELEUZE, G., *op. cit.*, p. 284

204. DELEUZE, G., *op. cit.*, p. 283

205. DELEUZE, G., *op. cit.*, p. 282.

206. SERRES, M. *op. cit.*, pp. 85-86, e Roumain et Faulkner traduisent l'Ecriture, em *La Traduction*. Paris, Minuit, 1974.

1

207. NEHER, A. Vision du temps et de l'histoire dans la culture juive, em *Lês cuttures et lê temps*. Paris, Payot, 1975, p. 179.