

Ciência e Filosofia

Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas

Universidade de São Paulo

Nº 4

1989

ÍNDICE

ISSN 0103-5703

1. Introdução

2. Textos de Pierre Duhem

ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE AS TEORIAS FÍSICAS

FÍSICA E METAFÍSICA

A ESCOLA INGLESA E AS TEORIAS FÍSICAS

ALGUMAS REFLEXÕES ACERCA DA FÍSICA EXPERIMENTAL

FÍSICA DO CRENTE

O VALOR DA TEORIA FÍSICA

3. Bibliografia

CIÊNCIA E FILOSOFIA
n. 4

1989

ISSN 0103-5703

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas
Universidade de São Paulo

CIÊNCIA E FILOSOFIA

Revista interdisciplinar dedicada a temas epistemológicos e filosóficos: teoria do conhecimento e filosofia da ciência, história e sociologia e metodologia da ciência, e os temas de lógica e filosofia da linguagem diretamente ligados à epistemologia.

Comissão Editorial

Caetano Ernesto Plastino
José R. N. Chiappin
Pablo Rubén Mariconda

João Paulo Monteiro
Luiz Henrique L. dos Santos
Rolf Nelson Kuntz

Diretor

Pablo Rubén Mariconda

Secretário

Caetano Ernesto Plastino

Conselho Consultivo

Alberto Luiz da Rocha Barros
Antonio Brito da Cunha
Arno Engelmann
Erasmus Garcia Mendes
Gabriel Cohn
Manuela Carneiro da Cunha
Maria Beatriz N. da Silva
Newton C. A. da Costa
Sérgio Mascarenhas
Silvio Salinas

Alexandre A. M. Rodrigues
Armando Mora de Oliveira
Carlos Augusto F. Monteiro
Ernesto W. Hamburger
José J. de Oliveira Filho
Marcos Barbosa de Oliveira
Milton Vargas
Oswaldo Porchat Pereira
Shozo Motoyama
Simão Matias

Universidade de São Paulo

Reitor: Roberto Leal Lobo e Silva Filho
Vice-Reitor: Ruy Laurenti
Secretário Geral: Lor Curi

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas

Diretor: João Alexandre Costa Barbosa
Vice-Diretor: Adilson Avansi de Abreu

Departamento de Filosofia

Chefe: Milton Meira do Nascimento

A FILOSOFIA DA FÍSICA DE PIERRE DUHEM

(org. Pablo Rubén Mariconda)

A FILOSOFIA DA FÍSICA DE PIERRE DUHEM

(org. Pablo Rubén Mariconda)

1. Introdução

2. Textos de Pierre Duhem:

Algumas Reflexões sobre as Teorias Físicas

Física e Metafísica

A Escola Inglesa e as Teorias Físicas

Algumas Reflexões acerca da Física Experimental

Física do Crente

O Valor da Teoria Física

3. Bibliografia

ÍNDICE

1. Introdução	9
2. Textos de Pierre Duhem	
ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE AS TEORIA FÍSICAS	13
FÍSICA E METAFÍSICA	41
A ESCOLA INGLESA E AS TEORIAS FÍSICAS	63
ALGUMAS REFLEXÕES ACERCA DA FÍSICA EXPERIMENTAL	87
FÍSICA DO CRENTE	121
O VALOR DA TEORIA FÍSICA	157
3. Bibliografia	179

Equipe Técnica

Serviço de Biblioteca e Documentação

**Normalização: Márcia Conceição Sampaio Ferraz
Ana Luiza de Oliveira Matos**

Serviço de Artes Gráficas

Supervisão de Artes Gráficas: Lucy Lagunas

Composição e Arte-Final: Fabiano Paula da Silva

Luiz Carlos da Costa

**Supervisão de Fitolito e Impressão: João Fernando Querido Salvado
Adaclé Mari Monteiro**

INTRODUÇÃO

Este número de *Ciência e Filosofia* é dedicado à filosofia da física de Pierre Maurice Marie Duhem (1861-1916). Dificilmente se pode superestimar o alcance intelectual da obra desse autor, embora ela seja conhecida apenas por um restrito círculo de especialistas. Físico de formação, Duhem notabilizou-se por seu trabalho original em física teórica, particularmente na Termodinâmica, e também por suas contribuições significativas para a filosofia e a história da ciência.

Duhem defendeu para a física teórica uma abordagem sistemática e matemática e seu interesse pelo método axiomático influenciou em certa medida a natureza de sua concepção de teoria física. Na história da ciência, Duhem foi responsável por uma verdadeira revolução historiográfica, combatendo a historiografia positivista da ciência dos séculos XVIII e XIX que considerava a Idade Média como uma idade das trevas dominada pela ignorância e preconceito. Duhem foi o primeiro a revelar os importantes desenvolvimentos da ciência medieval no campo da estática e da dinâmica, chamando a atenção dos estudiosos para a escola dos terministas parisienses do século XIV.

Os ensaios selecionados neste número relacionam-se com a concepção epistemológica e metodológica de Duhem e constituem, em grande medida, o pano de fundo de sua investigação histórica.

Os quatro primeiros ensaios, publicados originalmente entre os anos de 1892 e 1894, contêm parte substancial da concepção duhemiana de ciência física e foram quase que inteiramente incorporados a sua principal obra filosófica, *La Théorie Physique: son objet et sa structure*, publicada em 1906. A única modificação digna de nota diz respeito à questão da preditividade das teorias físicas, que tem um papel totalmente secundário no primeiro ensaio aqui publicado e que é recuperada no *La Théorie Physique* através da noção de *classificação natural*. Embora o *La Théorie Physique* aprofunde muitas questões, tais como a questão das definições, tratada nos capítulos I e II da segunda parte, e a questão da escolha das hipóteses, tratada no capítulo VII da segunda parte, os quatro primeiros ensaios aqui publicados apresentam o cerne da concepção duhemiana de ciência.

No primeiro ensaio, *Algumas Reflexões sobre as Teorias Físicas*, Duhem expõe sua concepção do conhecimento teórico e, em particular, da física teórica (física matemática) e das teorias físicas. Esse texto tem um duplo alcance: por um lado, Duhem estipula o fim e avalia o alcance do conhecimento teórico e, em conformidade com aquele fim, propõe um *método teórico*, isto é, um método para a construção de teorias físicas. Por outro lado, a esse método corresponde uma imagem epistemológica da natureza e estrutura das teorias físicas.

Em *Física e Metafísica*, Duhem apresenta sua solução para o problema da demarcação entre física e metafísica, explicitando o fundamento epistemológico de sua concepção do conhecimento teórico e das teorias físicas.

O terceiro ensaio, *A Escola Inglesa e as Teorias Físicas*, permite apreciar a crítica movida por Duhem ao mecanicismo, do qual ele foi um decidido opositor, rejeitando o uso de modelos mecânicos no tratamento dos fenômenos físicos. Neste mesmo texto, Duhem introduz a noção de classificação natural como fim ao qual devem tender os esforços dos físicos na construção de teorias unitárias.

Em *Algumas Reflexões acerca da Física Experimental*, Duhem expõe a concepção do conhecimento empírico e experimental, explicitando as noções de *experimento* e de *lei da física*, nas quais se assenta sua concepção do *método experimental*. Cabe mencionar ainda, neste ensaio, a defesa e explicitação da importante tese da impregnação teórica da observação e da tese da subdeterminação das teorias pelos dados experimentais.

Os dois últimos ensaios *Física do Crente* e *O Valor da Teoria Física* - são posteriores à publicação do *La Théorie Physique* e foram incluídos num apêndice à segunda edição dessa obra. Eles retomam duas questões fundamentais concernentes às teorias físicas: a questão da relação entre física e metafísica e a questão do estatuto cognitivo das teorias.

O *Física do Crente* rediscute a questão das classificações naturais e avalia o papel da metafísica em função das analogias que ela permite com a teoria física. Esse texto permite apreciar o papel fundamental atribuído por Duhem à termodinâmica como modelo de teoria física e a recuperação da física aristotélica como analogia metafísica dessa teoria.

Em *O Valor da Teoria Física*, Duhem discute a concepção pragmatista das teorias físicas, segundo a qual estas possuiriam apenas um *valor prático*, já que a análise lógica revela que são meras classificações convencionais e arbitrárias das leis da física. Contudo, Duhem procurará mostrar que a análise lógica é incapaz de afastar a convicção metafísica de que as teorias físicas devem tender a uma classificação natural das leis da física e de que, portanto, possuem um evidente *valor de saber*.

Finalmente incluímos ao final deste número uma *Bibliografia*, que, sem ter a pretensão de ser completa, pode servir como guia para aqueles que quiserem aprofundar alguns dos temas tratados nos ensaios aqui publicados.

Esperamos, por último, que este número de *Ciência e Filosofia* possa contribuir para a difusão das importantes concepções de um dos maiores epistemólogos e historiadores da ciência.

ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE AS TEORIAS FÍSICAS

ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE AS TEORIAS FÍSICAS¹

1. Sobre o Fim da Física Teórica

O espírito humano, posto na presença do mundo exterior para conhecê-lo, encontra primeiramente o domínio dos fatos. Ele vê que um pedaço de âmbar, friccionado por um pano de lã, atrai à distância uma bolinha de sabugueiro sustentada por um fio de seda; que um pedaço de vidro, friccionado por um pano de lã, age da mesma maneira; que um pedaço de cobre, friccionado com o mesmo pano de lã, ainda age da mesma maneira, desde que o pedaço de cobre e o pano de lã sejam ambos sustentados por um cabo de vidro, etc. Cada observação, cada nova experiência lhe traz um fato novo.

O conhecimento de um grande número de fatos forma um aglomerado confuso que constitui propriamente o *empirismo*. Esse conhecimento de fatos particulares nada mais é que o primeiro grau do conhecimento do mundo exterior. Pela indução, o espírito, transformando os fatos cujo conhecimento lhe é dado, chega ao conhecimento das *leis experimentais*. Assim, os fatos que acabamos de citar e os outros fatos análogos que o espírito pode observar, conduzem-no por indução a esta lei: todos os corpos, convenientemente friccionados, tornam-se aptos a atrair uma bolinha de sabugueiro suspensa por um fio de seda. Criando uma palavra nova para exprimir a propriedade geral que essa lei afirma, ele diz : por meio de um friccionamento conveniente, todos os corpos se eletrizam.

Compete aos filósofos analisar o mecanismo do procedimento indutivo que permite passar dos fatos às leis; discutir a generalidade e a certeza das leis assim estabelecidas. Não pretendo mais abordar aqui o exame destas questões, mas estudar o próprio conhecimento dos fatos.

O conhecimento das leis experimentais constitui a *ciência puramente experimental*, tão elevada acima do empirismo como a lei o é acima do fato particular.

Mas a ciência puramente experimental não é o último termo do conhecimento do mundo exterior. Acima dela está a *ciência teórica*. Aquilo que nos propomos estudar é a natureza dessa ciência, tomando como exemplo a teoria mais próxima da perfeição, que recebeu o nome de *física matemática*.

(1) Aula inaugural do Curso de Física Matemática e de Cristalografia da Faculdade de Ciência de Lille, publicada com o título "Quelques Réflexions au sujet des Théories Physiques", *Revue des Questions Scientifiques*, XXXI, 1892, p.139-177.

A ciência teórica tem por fim aliviar a memória e ajudá-la a reter mais facilmente o aglomerado das leis experimentais. Quando uma teoria é constituída, o físico, ao invés de reter isoladamente um aglomerado de leis, não necessita reter senão a lembrança de um pequeno número de definições e proposições enunciadas na linguagem das matemáticas. As consequências que a análise permite que ele deduza logicamente dessas proposições não têm nenhuma relação de *natureza* com as leis que constituem o objeto apropriado de seus estudos, mas fornecem-lhe uma imagem delas. Essa imagem é mais ou menos semelhante, porém quando a teoria é boa, essa imagem basta para substituir o conhecimento da lei experimental nas aplicações que o físico quer fazer.

Expliquemos tudo isso analisando como se constitui uma teoria física.

2. Das Definições na Física Teórica

Em primeiro lugar, o físico, interessado em constituir a teoria que reunirá um conjunto de leis, toma, uma após outra, as diversas noções físicas sobre as quais se assentam essas leis. A cada uma dessas noções físicas, faz corresponder uma grandeza, algébrica ou geométrica, cujas propriedades representam as propriedades mais imediatas das noções físicas correspondentes.

Assim, trata-se de constituir a teoria do calor? As leis mais elementares que se trata de coordenar por meio dessa teoria fazem intervir uma noção, a de *quente*. Essa noção apresenta certas características imediatas: por exemplo, compreendemos que dois corpos, de mesma natureza ou de natureza diferente, sejam tão quentes um quanto o outro; que um dos dois seja mais ou menos quente que o outro; que duas partes de um mesmo corpo sejam ou não tão quentes uma quanto a outra. Sabemos que se o corpo A é mais quente que o corpo B e o corpo B é mais quente que o corpo C, o corpo A é mais quente que o corpo C.

Essas propriedades, essenciais à noção de *quente*, não permitem *medir* o objeto dessa noção, não permitem encará-lo como uma *grandeza*.

Com efeito, para que um objeto seja mensurável, é preciso que a noção que temos desse objeto apresente não apenas todas as propriedades que acabamos de enumerar, mas ainda a propriedade da *adição*. Ora, o quente não é concebido por nós como suscetível de adição. Sabemos perfeitamente o que querem dizer estas frases: o corpo A é tão quente quanto o corpo B; o corpo A é mais quente que o corpo B; mas não compreendemos o que querem dizer enunciados tais como: o *quente* do corpo A é igual ao *quente* do corpo B mais o *quente* do corpo C; o corpo A é dezessete vezes mais quente que o corpo B; é três vezes menos quente que o corpo B.

Assim, o quente não é concebido por nós como suscetível de adição. Essa noção não é para nós redutível a uma grandeza.

Mas se a noção de quente não é redutível a uma grandeza, isso não impede em absoluto que o físico lhe faça corresponder uma certa grandeza, a que chama de *temperatura*, que ele escolhe de tal maneira que suas propriedades matemáticas mais simples *representem* as propriedades da noção de quente.

Assim, o quente se apresenta como uma característica própria a cada um dos pontos de um corpo. Concebemos cada um dos pontos de um corpo como sendo tão quente, menos quente, mais quente do que qualquer outro ponto. A cada ponto de um corpo faremos corresponder um valor determinado da temperatura.

A noção de quente não implica qualquer noção de direção. Não se compreenderia o significado da frase: no ponto M de um corpo faz mais calor na direção MN do que na direção MN'. A temperatura será, pois, uma simples quantidade algébrica e não uma grandeza geométrica.

A dois pontos tão quentes um quanto o outro, faremos corresponder dois valores iguais da temperatura. A dois pontos não igualmente quentes faremos corresponder dois valores desiguais da temperatura; e isso de tal maneira que o valor mais elevado da temperatura corresponda ao ponto mais quente.

Essa operação estabelece uma correspondência entre a noção de quente e a grandeza algébrica a que chamamos temperatura. Entre essas duas idéias, o quente e a temperatura, não há nenhuma espécie de relação de *natureza*: o quente nos é agradável ou desagradável; ele nos aquece ou nos queima; a temperatura pode ser adicionada a outra temperatura, ser multiplicada ou dividida por um número.

Mas, em virtude da correspondência estabelecida entre essas duas idéias, uma torna-se o *símbolo* da outra, de tal maneira que constatando-se que a temperatura de um corpo tem um valor determinado, constata-se quais são os corpos tão quentes, menos quentes ou mais quentes que esse corpo.

Em virtude dessa correspondência, toda lei física relativa ao quente, lei enunciada por uma proposição da linguagem comum, é traduzida simbolicamente por uma proposição matemática concernente à temperatura.

Assim, ao invés de dizer que todos os pontos de um corpo são tão quentes uns quanto os outros, diremos que a temperatura tem um mesmo valor em todos os pontos desse corpo.

Ao invés de dizer que o corpo A é mais quente que o corpo B, diremos que a temperatura do corpo A tem um valor maior que a temperatura do corpo B.

O exemplo que acabamos de desenvolver coloca nitidamente em evidência as características gerais apresentadas pela definição de uma quantidade física. O que acabamos de dizer acerca da temperatura poder-se-ia repetir, ao menos no que há de essencial, para todas as

definições de grandezas que se encontram no começo de qualquer teoria física. Vê-se que as definições físicas constituem um verdadeiro vocabulário: assim como um dicionário francês é um conjunto de convenções que faz corresponder a cada objeto um nome, da mesma maneira, também numa teoria física, as definições são um conjunto de convenções, fazendo corresponder uma grandeza a cada noção física.

Dentre as características essenciais apresentadas por tais definições, há uma que queremos especialmente evidenciar: é a de que uma tal definição possui um alto grau de arbitrariedade. Enquanto na geometria não pode haver senão uma boa definição de uma noção dada, por exemplo, a de ângulo reto, na física pode-se ter uma infinidade de definições de uma noção, por exemplo, da noção de temperatura ou da noção de intensidade luminosa.

A noção física, que se trata de representar, possui certo número de propriedades fundamentais. A grandeza destinada a simbolizá-la deve apresentar certo número de características próprias a representar essas propriedades. Mas toda grandeza que apresenta essas características pode ser tomada como símbolo da noção física em questão.

Assim, a temperatura deve apresentar as seguintes características:

- ela tem o mesmo valor para dois corpos igualmente quentes;
- ela tem um valor maior para o corpo A que para o corpo B, se o corpo A é mais quente que o corpo B.

Mas toda grandeza que apresenta essas duas características pode ser tomada como *temperatura*, importando pouco as outras propriedades que servem para complementar essas definições, importando pouco que a temperatura seja definida por relações entre volumes, pressões, forças eletromotrizes, etc.

3. Das Hipóteses na Física Teórica

A definição das diversas grandezas, próprias a simbolizar as noções sobre as quais uma teoria se assentará, constitui a primeira dentre as operações das quais resultará essa teoria.

Vejamos em que série de operações a teoria poderá em seguida desenvolver-se e complementar-se.

Entre as diversas grandezas que supomos definidas, estabeleceremos um certo número de relações, expressas por proposições matemáticas, a que daremos o nome de *hipóteses*.

Tomando as hipóteses como princípios, delas desenvolveremos logicamente as consequências.

Dentre essas consequências existem algumas que, em virtude das definições estabelecidas, poderão traduzir-se em proposições que se assentam unicamente sobre noções físicas, isto é, em proposições que apresentam a forma das leis experimentais. Essas consequências são o que se chama de *consequências experimentalmente verificáveis* da teoria.

Essas consequências experimentalmente verificáveis ordenam-se em duas classes: as consequências que se traduzem por uma lei experimental exata e as consequências cuja tradução está em contradição com uma lei experimental.

Se as consequências da teoria que a experiência confirma formam um conjunto extenso e variado, a teoria terá cumprido o fim que lhe estava designado. Ela permitirá aos físicos esquecer todas as leis experimentais que, por seu meio, lhes é permitido reencontrar, para guardar somente a lembrança de algumas definições e hipóteses; a teoria será boa.

Se, ao contrário, a teoria não fornece senão um pequeno número de consequências verificáveis pela experiência, ela não terá cumprido seu fim de coordenação; ela será inadequada.

Tudo isso é muito fácil de compreender. É inútil insistirmos nisso. Mas há um ponto delicado e importante ao qual é necessário voltar: referimo-nos à escolha das hipóteses. Como seremos conduzidos a enunciar essas proposições destinadas a servir de princípios à teoria? Segundo quais regras elas poderão ser escolhidas?

Em princípio, somos absolutamente livres para fazer essa escolha do modo que melhor nos parecer. Ninguém tem o direito de pedir satisfação das considerações que ditaram nossa escolha, contanto que as consequências logicamente deduzidas dessas hipóteses pela análise matemática nos forneçam o símbolo de um grande número de leis experimentais exatas.

É o que exprimia tão bem Nicolau Copérnico no início de seu livro: *De revolutionibus coelestibus, libere sex*, ao dizer:

*"Neque enim necesse est eas hypotheses esse veras; imo, neverisimiles quidem; sed sufficit hoc unum, si calculum observationibus congruentem exhibeant."*²

Mas, de fato, certamente essa escolha não se faz ao acaso. Existem métodos gerais segundo os quais são tomadas as hipóteses fundamentais da maior parte das teorias, e classificar esses métodos é ao mesmo tempo classificar as teorias.

O método ideal e perfeito consistiria em não tomar outras hipóteses, senão a tradução simbólica, em linguagem matemática, de algumas das leis

(2)"E não é necessário que essas hipóteses sejam verdadeiras, muito pelo contrário, basta que sejam verossímeis; sendo suficiente aqui unicamente que exibam cálculos congruentes com as

experimentais cujo conjunto se quer representar. Nessas condições, o próprio desenvolvimento da teoria seria inteiramente a tradução simbólica, em linguagem matemática, de um raciocínio passível de ser formulado em linguagem usual. Esse raciocínio tomaria como princípio as leis experimentais que as hipóteses simbolizaram e teria por conclusões as leis experimentais que as consequências da teoria simbolizam. A análise matemática não teria outro papel senão aquele de abreviar, de amenizar a linguagem. Todas as consequências da teoria apresentariam o mesmo grau de certeza e exatidão que as leis experimentais tomadas como hipóteses. As leis experimentais que se apresentariam como consequências da teoria, seriam verdadeiramente uma sequência lógica das leis experimentais tomadas como hipóteses.

Tal teoria não apresentaria absolutamente nada de *hipotético*. Seu autor poderia com razão pronunciar o famoso *hypotheses non fingo* de Newton.

Mas diga-se ainda que se a física apresenta várias teorias que se aproximam mais ou menos desse ideal, ela não nos oferece nenhuma que o realize plenamente. Newton pode enunciar o *hypotheses non fingo*, Ampere pode intitular sua obra: *Teoria Matemática dos fenômenos eletrodinâmicos unicamente deduzidos da experiência*; mas, de fato, é fácil mostrar que suas hipóteses não são a simples tradução simbólica das leis experimentais.

Reencontraremos, nessa mesma linha, a teoria de Ampere. Teremos oportunidade de estudar detalhadamente as hipóteses sobre as quais ela repousa. Deixemos de lado por ora essa teoria e tomemos a teoria da atração universal.

Quais são as leis experimentais nas quais ela está baseada? As leis de Kepler. Qual é a tradução exata dessas leis na linguagem simbólica criada pelas definições da mecânica racional?

"O sol exerce sobre todo planeta uma força de atração na razão inversa do quadrado da distância do sol ao planeta. As forças exercidas pelo sol sobre os diversos planetas estão entre si como as massas desses planetas. Os planetas não exercem nenhuma força sobre o sol."

É essa a hipótese fundamental na qual se assenta a teoria de Newton? De modo algum. Newton corrige essa proposição que acabamos de enunciar; em seguida lhe acrescenta uma nova proposição não verificável pela experiência e então generaliza o resultado obtido.

Newton corrige, dissemos, a proposição precedente: ao passo que, segundo as leis de Kepler, os planetas não exercem nenhuma ação sobre o sol, Newton enuncia que todo planeta exerce sobre o sol uma ação igual e diretamente oposta àquela que ele recebe.

Newton contenta-se com essa correção? Não, ele acrescenta uma proposição que a experiência não lhe fornece, a saber, que se o sol fosse substituído por outro corpo, as ações exercidas sobre os diversos planetas

seriam multiplicadas pela relação da massa desse novo corpo com a massa do sol.

Isso é tudo? Ainda não. Newton generaliza o resultado obtido, e é somente por essa generalização que pode enunciar o princípio fundamental de sua teoria:

Dois corpos materiais, cujas dimensões são desprezíveis em relação a sua distância, são submetidos a uma atração mútua proporcional ao produto das massas dos dois corpos e na razão inversa do quadrado da distância que os separa.

O que fez Newton então? Tomou como hipótese a tradução simbólica de uma ou várias leis experimentais? De modo algum. Tomou como hipótese uma proposição da qual as leis experimentais, colocadas no início de sua teoria, são somente consequências particulares, exatas ou simplesmente aproximadas.

É esse o procedimento geral empregado por todos os teóricos. Para formular suas hipóteses, escolhem algumas das leis experimentais cujo conjunto deve ser abarcado por sua teoria, e, em seguida, por via de correção, generalização e analogia, compõem uma proposição da qual essas leis sejam consequências exatas ou simplesmente aproximadas. É essa proposição que eles tomam como hipótese.

Sendo as hipóteses nas quais se baseia uma teoria, não a tradução adequada das leis experimentais, mas o resultado de uma elaboração mais ou menos considerável relacionada com essas leis, concebe-se que todos os intermediários possam existir entre a hipótese que simboliza quase imediatamente a lei experimental, a hipótese vizinha do ideal do qual falamos anteriormente, e a hipótese tão afastada da experiência, que sua significação simbólica é quase completamente dissimulada, que ela perdeu quase todo o sentido físico.

4. Dos Limites de uma Teoria e das Modificações que ela pode sofrer

Se todas as hipóteses nas quais assenta uma teoria fossem simplesmente a tradução simbólica das leis experimentais, todas as consequências da teoria seriam traduzíveis em leis cujos graus de certeza e exatidão seriam exatamente os graus de certeza e exatidão das leis tomadas como hipóteses. Mas, conforme já foi dito, as hipóteses nas quais está baseada uma teoria nunca são a tradução exata de leis experimentais. Todas elas resultam de uma modificação mais ou menos profunda imposta às leis experimentais pelo espírito do teórico.

Ora, assumindo-se que as hipóteses nas quais se baseia uma teoria encerram alguma coisa que não estava nas leis experimentais pelas quais elas foram sugeridas, segue-se que a certeza e a exatidão dessas leis não se

reencontram inteiramente nas consequências da teoria. As leis físicas, que as consequências da teoria simbolizariam, podem não ser totalmente exatas. Pode-se apontar o fato de que por mais ampla e certa que seja uma teoria física, quando suficientemente ampliada, ela sempre chega a conclusões contrárias à experiência.

Já afirmamos anteriormente, mas a asserção é tão importante que vale a pena nela insistir: uma boa teoria não é aquela em que nenhuma consequência não está em desacordo com a experiência; se seguíssemos esse padrão não haveria nenhuma boa teoria e até mesmo é verossímil dizer que a criação de uma boa teoria sobrepujaria as forças do espírito humano. Uma boa teoria é aquela que simboliza de maneira suficientemente aproximada um extenso conjunto de leis físicas; que não encontra contradições com a experiência a não ser quando se procura aplicá-la fora do domínio onde se deve utilizá-la.

Dai resulta que o valor de uma teoria tem um caráter totalmente relativo. Depende do conjunto de leis para cuja classificação sistemática das quais a teoria deve ser empregada. Tal teoria, boa para classificar as leis da distribuição sobre os corpos condutores homogêneos (tal é a teoria de Poisson), deixa de ser uma boa teoria quando se quer classificar as leis relativas a todos os corpos condutores, homogêneos ou heterogêneos, ou ainda quando se quer englobar num mesmo sistema as leis da distribuição sobre os corpos condutores e sobre os corpos dielétricos.

O valor de uma teoria não depende somente do conjunto das leis que se pretende resumir com essa teoria. Depende ainda do grau de precisão dos métodos experimentais que servem para estabelecer ou para aplicar essas leis. Com efeito, não se pede a uma consequência da teoria que traduza uma lei física formalmente idêntica à lei experimental que se busca representar, pede-se somente que ela traduza uma lei física, cujos desvios em relação a essa lei experimental sejam inferiores ao limite dos erros de observação. Esse é, com efeito, um princípio que nunca se deve esquecer: em física, duas leis diferentes na forma, devem ser consideradas como idênticas se seus desvios não podem ser constatados pelos métodos de observação de que se dispõe.

Desde então, certas consequências de uma teoria poderão ser consideradas como conformes às leis experimentais por um físico que disponha de certos meios de observação dados, e como contrárias às leis experimentais por outro físico que disponha de meios de observação mais perfeitos, capazes de apreciar os desvios que escapavam aos instrumentos do primeiro.

A teoria clássica dos gases, por exemplo, era boa para os físicos enquanto seus instrumentos ofereciam o mesmo grau de precisão que os de Gay-Lussac. Quando o gênio inventivo de Regnault dotou a ciência de procedimentos muito mais sutis, essa teoria tornou-se inadequada.

E ainda: a antiga teoria dos gases, inadequada para um físico cujas investigações solicitam toda precisão exigida atualmente, pode permanecer

boa para um engenheiro, para um químico, se suas investigações não exigem uma exatidão maior que aquela com a qual nos contentávamos nos tempos de Gay-Lussac.

Assim, uma teoria não pode ser julgada, se não levarmos em consideração os limites do campo ao qual se pretende aplicá-la e o grau de precisão experimental que ela supõe. Se qualquer de suas consequências, compreendida nos limites do campo para o qual a teoria se pretende válida, se desvia de uma lei experimental o suficiente para que o desvio possa ser apreciado pelos métodos de observação dos quais a teoria declara aceitar o controle, a teoria deve ser condenada; caso contrário, ela deve ser aprovada.

O que acabamos de dizer mostra que se pode, sem contradição, considerar que uma teoria é boa e propor sua substituição por outra melhor. A primeira teoria representava, com uma dada aproximação, um dado conjunto de leis experimentais; a nova teoria representará um conjunto mais extenso de leis, ou então representará as mesmas leis com uma aproximação maior.

Para substituir uma teoria por uma teoria mais perfeita não é sempre necessário, quase nunca é necessário destruir inteiramente a primeira. Muito comumente, basta construir uma teoria mais completa, onde as definições e as hipóteses da primeira teoria se encontram por inteiro, mas onde novas definições são introduzidas e novas hipóteses são enunciadas. É assim que após ter tratado a teoria da distribuição elétrica sobre sistemas que encerram apenas corpos condutores, pode-se, sem nada perder dessa teoria, completá-la de maneira que ela compreenda também as leis da distribuição sobre os sistemas que encerram ao mesmo tempo corpos condutores e dielétricos.

Há ocasiões em que uma teoria só pode ser substituída por outra mais perfeita mediante transformações mais profundas que alteram as definições e as hipóteses sobre as quais repousava a primeira teoria. É fácil compreender como semelhantes transformações são possíveis.

A definição de uma grandeza física sempre implica um alto grau de arbitrariedade. Essa grandeza deve apresentar um certo número, em geral bastante limitado, de caracteres que lhe são impostos pela própria noção que ela deve simbolizar. Mas toda grandeza que apresenta essas características é apropriada para simbolizar essa noção. De maneira que, para representar uma mesma noção, poder-se-á, em geral, utilizar uma variedade de grandezas extremamente diferentes.

A simples mudança das definições levaria imediatamente a mudar as hipóteses. Uma mesma lei experimental será simbolizada por dois enunciados matemáticos diferentes, se as noções sobre as quais ela se apoiar forem representadas por grandezas diferentes. Mas essa modificação puramente formal, pode ser considerada como não sendo uma verdadeira transformação da hipótese. É simplesmente uma tradução da mesma hipótese por intermédio de símbolos diferentes, e esses dois enunciados de uma mesma

hipótese em dois sistemas de símbolos diferentes não constituem duas hipóteses distintas, assim como os enunciados de uma mesma proposição em francês, em latim e em grego não constituem três proposições diferentes.

Uma hipótese pode ser modificada de maneira que atinja mais profundamente sua significação.

Se uma hipótese fosse simplesmente a tradução simbólica de uma lei experimental, ela não poderia ser modificada senão pela maneira que acabamos de indicar, pelo menos enquanto a lei experimental continuasse a ser considerada como exata. Mas na realidade, como vimos, todas as hipóteses são outra coisa além da simples tradução de uma lei experimental. Todas elas são o resultado de uma transformação imposta à lei experimental pelo espírito do físico, e é por aí que elas são modificáveis. Dois físicos podem submeter uma mesma lei experimental a uma transformação diferente, e conseqüentemente enunciar duas hipóteses diferentes, construir duas teorias diferentes e chegar a diferentes conseqüências.

Assim, quanto mais as hipóteses nas quais está baseada uma teoria se aproximarem dessa forma ideal que é a simples tradução simbólica de uma lei experimental, mais difícil será modificá-las; e, por conseqüência, a teoria terá a oportunidade de durar tanto quanto as leis experimentais que representa; de modificar-se somente por via da extensão e do crescimento, sem ser nem alterada nem destruída. E, de modo contrário, quanto mais as hipóteses se distanciarem das leis experimentais que as tornaram possíveis, mais o físico terá colocado de si próprio na enunciação da hipótese e mais a teoria será oscilante e sujeita à demolição. De maneira que, de agora em diante, as considerações puramente lógicas que acabamos de desenvolver indicam em que direção o teórico deve dirigir seus esforços, se quer conceber uma obra viável.

5. Das Teorias Mecânicas

Falta muito para que os esforços dos teóricos se dirijam sempre no sentido que acabamos de indicar. Seu ideal foi durante muito tempo e é ainda atualmente, para muitos deles, extremamente diferente daquele para o qual acreditamos que se deve tender. É a essa tendência errônea que se devem atribuir as incessantes subversões sofridas pela Física Teórica e, portanto, o descrédito em que essa ciência caiu no espírito de muitos físicos.

Esse falso ideal é a *teoria mecânica*.

Procuremos primeiro inteirarnos exatamente da natureza daquilo que se chama uma teoria mecânica.

Vimos que a cada noção física, a teoria devia substituir, a título de símbolo, uma certa grandeza. Vimos que essa grandeza estava restrita a apresentar certas propriedades, tradução imediata das características da noção que ela simboliza. Mas deixando de lado essas características, em geral pouco numerosas, sua definição permanecia absolutamente arbitrária. Numa

teoria mecânica, impõe-se além disso a todas as grandezas físicas, sobre as quais se assentam as leis que teremos que unir entre si, a condição de serem compostas por meio de elementos geométricos e mecânicos de certo sistema fictício, e a todas as hipóteses impõe-se a condição de serem o enunciado das propriedades dinâmicas desse sistema.

Tomemos como exemplo a teoria da luz. Nela encontramos certas noções, a de cor e a de intensidade de luz monocromática. Essas noções apresentam certo número de características que deverão reproduzir as grandezas que as simbolizarão numa teoria qualquer. A cor, por exemplo, deverá ser simbolizada por uma grandeza que tenha para cada cor um valor determinado, e valores diferentes para cores diferentes. A intensidade deverá ser representada por uma grandeza sempre positiva, tendo o mesmo valor em dois pontos igualmente iluminados, um valor maior no ponto A que no ponto B se A é mais iluminado que o ponto B. As leis experimentais da propagação da luz, das interferências, da reflexão, da refração, da dispersão, leis generalizadas conforme a necessidade, traduzir-seão por uma série de hipóteses que ligam entre si essas diversas grandezas. O conjunto dessas hipóteses formaria o ponto de partida de uma *teoria física* da luz.

Não é dessa maneira, por simples generalização das leis experimentais, que obteremos nossas hipóteses, se queremos criar uma *teoria mecânica* da luz. Admitiremos que todas as noções físicas que se encontram ao estudar os fenômenos luminosos devem ser representadas pelas propriedades mecânicas de certo meio, o éter. Procuraremos imaginar a constituição desse meio de modo que suas propriedades mecânicas possam formar um símbolo de todas as leis da ótica. A cor será então simbolizada pelo período de certo movimento vibratório propagado nesse meio; a intensidade, pela força viva média desse movimento; e as leis da propagação da luz, de sua reflexão, de sua refração, deverão resultar da aplicação a esse meio dos teoremas fornecidos pela Elástica. É assim que se forma a teoria clássica da luz.

Muitos físicos não querem outra teoria a não ser uma teoria mecânica. Com Huygens, acreditam estar "na verdadeira Filosofia na qual se concebe a causa de todos os efeitos naturais devido a razões de mecânica. O que é necessário fazer, na minha opinião, ou então renunciar a qualquer esperança de um dia compreendermos alguma coisa na Física."

Eles exigem que toda grandeza física seja composta com as únicas grandezas que definem as propriedades mecânicas de certo sistema material.

Mas, suas exigências não param aí. Em geral, outras obrigações, variáveis conforme a escola a qual pertencem, vêm juntar-se às já mencionadas. Para alguns, o sistema material deve ser formado de meios contínuos; para outros, de átomos isolados; uns admitem entre os diversos elementos materiais forças atrativas ou repulsivas; outros rejeitam a existência de semelhantes forças e querem que os átomos materiais possam agir somente por contato, em conformidade com as leis do choque.

Assim, quando nos propomos simplesmente construir uma teoria física, as grandezas que definimos, as hipóteses que enunciamos estão submetidas somente às condições que lhes impõem de uma parte as leis experimentais, e de outra as regras da álgebra e da geometria. Quando nos propomos construir uma teoria mecânica, nos impomos além disso, a obrigação de introduzir nessas definições e hipóteses apenas um número muito restrito de noções de natureza determinada.

O primeiro inconveniente de semelhante método é que, restringindo o número dos elementos por meio dos quais deve ser construído o símbolo de um conjunto de leis, não se deixa outro recurso ao físico, para responder a todas as exigências da experiência, senão o de complicar as combinações que ele forma com esses elementos.

Imaginemos dois artistas aos quais se pede para representar a forma de um mesmo objeto; a um, permite-se o emprego de todos os recursos que lhe fornecem as artes do desenho; ao outro, só se permite o emprego do traço. O primeiro, pelo jogo das sombras, poderá com um único traçado dar do objeto uma representação que o segundo igualará com muito esforço desenhando um grande número de perfis. O primeiro artista é a imagem do físico que compõe uma teoria física, o segundo do físico que constrói uma teoria mecânica. Examine-se a complicação dos meios imaginados por Sir W.Thomson para dar conta das leis da ótica, por Maxwell para representar os fenômenos elétricos e compreender-se-á a justeza dessa comparação.

O método que afasta toda teoria não mecânica conduz a grandes complicações. Pode ser também que ele esbarre com impossibilidades. Quem nos garante que todas as noções físicas, que todas as leis experimentais poderão ser simbolizadas por uma combinação, mesmo muito complicada, unicamente de conceitos mecânicos? Tomemos esse artista, ao qual se proíbe qualquer procedimento exceto o traço, e peçamos que ele exprima a cor do objeto que ele tem diante dos olhos: ele não poderá fazê-lo. Não é por uma razão análoga que as teorias mecânicas mais complexas não puderam, até o momento, dar conta de maneira satisfatória do princípio de Carnot?

Assim, longe da teoria mecânica nos parecer a teoria ideal, consideramo-la como uma teoria envolvida pelos entraves que lhe impõe uma forma estreita e que chegam às vezes mesmo a tornar impossível seu desenvolvimento. Vimos que uma teoria oferecia tanto mais garantias de exatidão e duração quando as hipóteses, sobre as quais ela repousa, estavam mais próximas da simples tradução das leis experimentais. Ora, entre as hipóteses sobre as quais repousa uma teoria mecânica, há um grande número que não têm a experiência por origem e que resulta somente de exigentes convenções arbitrariamente colocadas pelo físico. Essas hipóteses são o germe que mata todas as teorias mecânicas.

Com efeito, as teorias mecânicas desaparecem da ciência umas após as outras.

Quando se comparam as consequências de uma teoria mecânica com as leis experimentais, encontram-se consequências verificadas e consequências contraditas: quando se remonta dessas consequências às hipóteses sobre as quais repousa a teoria, encontra-se quase invariavelmente que as consequências verificadas resultam daquelas hipóteses que traduzem simplesmente as leis experimentais; ao passo que as consequências contraditas resultam daquelas hipóteses impostas pela natureza mecânica da teoria. Por isso, os físicos são levados pouco a pouco a suprimir essas últimas hipóteses para conservar somente as primeiras; são levados a transformar uma teoria mecânica em teoria física. É assim, por exemplo, que o ramo da ciência que foi por muito tempo apresentado como a *Teoria Mecânica do Calor*, transformou-se gradualmente, sob o nome de *Termodinâmica*, em uma das mais perfeitas teorias físicas.

6. A Física Teórica não é uma Explicação Metafísica do Mundo Material

Se a teoria mecânica, longe de ser a teoria ideal, apresenta-se mais ou menos como a teoria mais afastada do ideal, como explicar a tendência que a faz ser considerada por tantos físicos como o termo supremo da ciência? Tocamos aqui o nó vital de todas as doutrinas errôneas de que foi objeto a física teórica.

Procuramos delimitar exatamente a natureza e o fim da física teórica. Como dissemos, ela é um sistema, uma construção simbólica destinada a resumir o conjunto de leis experimentais em um pequeno número de definições e princípios. Eis o seu papel, útil, mas modesto. É muito fácil exagerá-lo.

Uma tendência irresistível leva-nos a pesquisar a natureza das coisas materiais que nos cercam e a razão de ser das leis que regem os fenômenos que observamos. Esta tendência move todo homem, desde o selvagem mais supersticioso até o filósofo mais curioso. Como ela não afetaria também, com grande intensidade, aquele cujas meditações contínuas têm por objeto o mundo físico? A esta tendência acrescentemos o desejo que possui naturalmente todo homem de aumentar a importância de um objeto que ele há muito tempo e penosamente perseguiu. Compreendemos, sem dificuldade, como o físico é conduzido a tomar os sistemas, que ele construiu tendo em vista representar simbolicamente as leis experimentais, como uma explicação metafísica dessas leis.

E mais: não apenas tudo, dentro dele, leva o físico a considerar as teorias que construiu como explicação da natureza, mas ainda a multidão no interior da qual ele vive exerce sobre suas idéias uma influência poderosa na mesma direção. A multidão só tem duas maneiras de compreender a física: ou ela lhe pede explicações imediatas que satisfaçam suas necessidades

materiais, ou dela exige uma explicação do mundo físico que satisfaça sua ambição de compreender tudo. Por isso ela acolhe com desconfiança o sábio prudente, aquele que define com conscienciosa precisão o sentido e os limites das leis que enuncia. Contudo, se um homem apresenta a essa multidão uma teoria mais ou menos extensa como uma explicação metafísica do universo, ela acolherá seus ensinamentos com uma confiança cega; ela juntará ao número das verdades definitivamente estabelecidas essas visões de um espírito que exagera a importância de suas concepções, a ponto de falsear o seu caráter essencial. Ela acreditará contemplar a própria estrutura do mundo e terá diante dos olhos somente uma construção frágil, logo destruída para dar lugar a uma outra.

O físico, portanto, é levado por si mesmo, assim como pelo meio que o cerca, a procurar na teoria não uma coordenação sistemática das leis, mas uma explicação dessas leis. Por conseguinte, suas preferências dirigir-se-ão para a forma da teoria que preconizamos como a forma ideal, ou em direção à teoria mecânica? É bem fácil ver que a teoria mecânica lhe aparecerá como o fim em direção ao qual devem tender seus esforços.

Imaginemos, com efeito, que um pesquisador, sempre que define uma grandeza física, tenha o cuidado de assinalar que essa grandeza está somente sujeita a simbolizar uma noção de origem experimental por algumas de suas características e que, desse modo, sua definição seja inteiramente livre. Imaginemos que, todas as vezes que ele enuncie uma hipótese, tenha o cuidado de assinalar até que limite essa hipótese é a tradução de uma lei da experiência. Qualquer que seja a extensão ou a fecundidade de sua teoria, será difícil que ele perca de vista seu caráter exclusivamente simbólico e acredite que obteve uma explicação das leis que representou.

Imaginemos, ao contrário, um pesquisador que tenha construído, peça por peça, um mecanismo mais ou menos complicado, cujas diversas propriedades representem um certo número de leis físicas. Ele poderá mais facilmente esquecer que, se certas propriedades de seu mecanismo simbolizam certas leis do mundo, seu mecanismo em si mesmo não representa o mundo. Para representar uma noção física, ele formou uma concepção complexa. Ele poderá crer que, assim como essa concepção complexa representa a noção física, os elementos que compõem essa concepção representam as causas que fazem nascer essa noção em nós. Seu erro é semelhante àquele de um mecânico que, ao ver o autômato que ele construiu imitando os movimentos de um homem, acaba por imaginar que a estrutura do autômato representa o organismo humano.

Um exemplo tornará mais clara essa diferença.

Se um físico introduz em suas teorias a temperatura como uma grandeza destinada a simbolizar a noção de quente; se ele introduz a quantidade de calor como uma grandeza destinada a representar o peso de um certo corpo que um fenômeno determinado pode aquecer com uma quantidade determinada; se ele introduz o princípio de equivalência do calor

e do trabalho o princípio de Carnot como generalizações de leis experimentais, qualquer que seja a riqueza de consequências que lhe traga a teoria termodinâmica que concebeu, ele não a tomará, certamente, por um sistema metafísico que explica o universo.

Ao contrário, se um físico imagina um sistema formado por um número imenso de pequenos corpos animados por um movimento estacionário; se ele supõe a força viva média desses pequenos corpos proporcional à temperatura absoluta; se, por meio de suposições convenientemente escolhidas a respeito de seu número, de suas dimensões, dos movimentos que os animam e das forças que eles exercem uns sobre os outros, ele chega a deduzir o princípio de equivalência do calor e do trabalho (vide o princípio de Carnot), pela aplicação dos teoremas da mecânica a esses pequenos corpos, ele será tentado a exclamar: "Eis como o mundo é feito!"

Se uma teoria não toma todos seus elementos emprestados à mecânica, muitos não estarão satisfeitos, pois, ao mostrar as combinações que resultam do jogo de seus espíritos, eles desejam poder dizer: "Esta é a explicação do universo".

queles que desejam que suas teorias expliquem a natureza e as causas das leis físicas, opomos aquele que procura na física teórica apenas um símbolo dessas leis. Este não limitará de antemão o número e a natureza das noções que lhe será permitido combinar entre si. Admitirá em seu sistema outras grandezas além das da geometria e da mecânica. Quando uma quantidade tiver sido claramente definida, quando se tiver colocado de maneira precisa as regras segundo as quais ela deve ser tratada nos raciocínios e nos cálculos e medida nas experiências, ele não se recusará a fazer uso dela. Se as hipóteses feitas sobre essa quantidade permitem representar bem a classe de fenômenos que ele estuda, seu espírito estará satisfeito. Ele não perderá seu tempo e seus esforços para substituir esta noção por uma combinação de conceitos geométricos e mecânicos.

Assim, na teoria do calor, ele procurará estabelecer de maneira precisa as regras segundo as quais se deve raciocinar a respeito das noções de *temperatura* e de *quantidade de calor*. Em seguida, desenvolvendo em conformidade com essas regras a cadeia de suas deduções, delas extrairá as consequências no estudo da vaporização, da fusão, da dissociação e da dissolução. Quando ele vir uma multiplicidade de fenômenos variados e complicados serem elucidados, classificados, ligados uns aos outros por meio da teoria que ele concebeu, ele acreditará ter alcançado seu fim. Se lhe pedíssemos para construir, com auxílio das noções de espaço, de tempo e de massa, conceitos complexos com propriedades análogas àquelas que ele atribui à temperatura e à quantidade de calor, ele negar-se-ia a satisfazer essas exigências. Se o acusarmos, então, de empregar *qualidades ocultas*, ele não se sentirá atingido por esta crítica: ele desejou classificar as leis e não desvendar as causas.

7. O Papel das Teorias Mecânicas na História da Ciência

A crítica à qual acabamos de submeter as teorias chamadas mecânicas levanta imediatamente uma objeção: se essas teorias têm por princípio uma idéia tão completamente errônea do papel da física, de onde provém que elas tenham produzido na física tão grandes progressos?

Esta objeção merece ser respondida, pois é impossível negar as descobertas que a ciência deve às teorias mecânicas. Descartes, Newton, Huygens, Laplace, Poisson, Fresnel, Cauchy são todos adeptos da idéia de que a física deve ser puramente mecânica e nós lhes devemos a física moderna. A teoria da luz, tal como criada pela genialidade de Fresnel, foi a mais fecunda das teorias e é uma teoria mecânica.

A objeção é fácil de ser dissipada.

É sempre no início de uma ciência que é pior definido o seu papel. Mais do que os outros, os que a criam são levados a exagerar seu alcance. Não é, pois, de modo algum espantoso, que quase todos os criadores da física teórica tenham procurado edificar teorias mecânicas. Porém, não é porque se utilizaram de semelhantes teorias que eles fizeram um grande número de descobertas. A verdade é que, de um lado, as teorias devem sobretudo mostrar-se fecundas na origem da física teórica e, de outro, na origem da física teórica, as teorias mecânicas devem naturalmente ser favorecidas. A fecundidade das teorias mecânicas, no século passado e no início deste século, não é, pois, uma consequência lógica da natureza dessas teorias. Há, simplesmente, uma coincidência entre sua forma mecânica, de um lado, e a multiplicidade e importância das descobertas que elas produzem, de outro. Esta coincidência não é, aliás, de modo algum fortuita, mas decorre das leis que presidem o desenvolvimento da ciência.

É desse modo que, na infância, a ingenuidade coincide com a aquisição de uma massa enorme de conhecimentos sem que uma dessas características possa ser vista como consequência da outra; uma e outra simplesmente coincidem e isso porque ambas derivam das leis de desenvolvimento da inteligência humana. É no início de seu desenvolvimento intelectual que a criança aprende mais. É também nesse início que ela percebe com menos exatidão o valor desses conhecimentos.

Se a opinião que aqui emitimos é exata, à medida que a física teórica se aperfeiçoa, os mais eminentes físicos devem compreender cada vez melhor sua natureza e seu fim. Suas preferências devem, pouco a pouco, abandonar as teorias mecânicas para dirigir-se às verdadeiras teorias físicas. Estas devem herdar a fecundidade que aquelas perdem. Aqueles que seguem de perto a história da ciência em nossa época não podem deixar de ter notado essa decadência das teorias mecânicas e essa importância sempre crescente das teorias puramente físicas.

Assim, o que dissemos a respeito da natureza da física teórica explica as mudanças que sofreram os métodos próprios de tratar a física no decorrer da história.

Há ainda outra questão histórica que pode ser esclarecida pelas observações precedentes.

Se o físico procura em suas teorias uma explicação das leis da natureza, só poderá aceitar como satisfatória uma teoria conforme a suas idéias metafísicas. Se o filósofo acredita encontrar a razão de ser dos fenômenos materiais nas teorias desenvolvidas pelo físico, ele se inspirará nessas teorias para a construção de seu sistema metafísico. Daí decorre uma ação mútua, muito íntima e muito poderosa entre a física e a metafísica de cada época. A metafísica cartesiana imprime seu cunho não apenas à física de Descartes, mas também à física de Huygens e suas características essenciais reencontram-se na obra de Euler e de Lagrange. Aparece com Newton uma escola de física cujas principais personalidades, após o fundador, são Laplace, Poisson e Cauchy. A história dessa escola, a qual poderíamos chamar de *Escola da Atração Molecular*, está intimamente vinculada às idéias leibnizianas. Atualmente, certas escolas filosóficas como, por exemplo, a de Herbert Spencer, estão inteiramente impregnadas de idéias tomadas de certas teorias termodinâmicas. Esse é um aspecto que nos limitamos a indicar rapidamente, mas cuja clara visão ilumina toda a história das teorias físicas.

A medida que se tem melhor conhecimento do papel puramente simbólico das teorias físicas, essas tornar-se-ão mais independentes das doutrinas metafísicas em voga e, simultaneamente, renunciarão à pretensão mal fundada de impor seu sistema à metafísica. Acontecerá com elas algo análogo àquilo que se produziu com a análise matemática. Nascida das doutrinas metafísicas e teológicas relativas às relações entre o infinito e o finito, às relações entre o sobrenatural e o natural, a análise matemática, por sua vez, exerceu sobre a metafísica e a teologia uma influência que não esteve sempre isenta de pretensões tirânicas. Foi preciso o gênio de um Lagrange para descobrir, e o esforço de um século de grandes matemáticos para provar que a análise matemática possuía seu próprio domínio, seus próprios métodos e que ela não devia aceitar o jugo da metafísica e da teologia nem impor-lhes o seu.

8. Nem Todas as Teorias de uma mesma Classe de Fenômenos são Equivalentes

Não somos os únicos a professar as idéias que acabamos de expor e, se há uma opinião que nos deixa contentes de poder invocar em apoio à nossa, é seguramente a do analista ilustre que escreveu as seguintes linhas:

"As teorias matemáticas não têm como objeto revelar-nos a verdadeira natureza das coisas: essa seria uma pretensão despropositada. Seu único fim é coordenar as leis físicas que a experiência nos faz conhecer, mas que, sem a ajuda das matemáticas, não poderíamos nem mesmo enunciar."³

O mesmo autor continua nestes termos:

"As teorias propostas para explicar os fenômenos óticos pelas vibrações de um meio elástico são muito numerosas e igualmente plausíveis."

Nessas linhas, acreditamos presentir uma tendência que reina atualmente em todos os domínios intelectuais e que começa a impor seu império à física matemática. Essa tendência consiste em tomar como equivalentes as diferentes teorias que podem ser enunciadas sobre um mesmo conjunto de leis e estudar todas sem dar preferência a nenhuma dentre elas. Nós gostaríamos de assinalar, em algumas palavras, em que a aplicação desse método à física teórica é ilegítima e como é possível evitar o seu emprego.

Seguramente, aquele que toma toda teoria física, não como uma explicação da natureza adequada ao seu objeto, mas como um sistema destinado a fornecer o símbolo de um conjunto de leis experimentais, terá o cuidado de não acreditar que uma única teoria seja capaz de representar uma dada classe de fenômenos. Seria análogo a crer que dois retratos de um mesmo homem não podem ser diferentes, mas só semelhantes.

Porém, se é possível fazer de um mesmo homem uma grande quantidade de retratos diferentes, não resulta disso que não se possa razoavelmente preferir um desses retratos aos outros. Da mesma forma, pode acontecer que diferentes teorias de uma mesma classe de fenômenos sejam logicamente aceitáveis sem serem, por isso, igualmente plausíveis. Podemos ter motivos razoáveis para preferir uma entre as outras.

Além disso, supomos que as diferentes teorias, entre as quais se trata de escolher, são todas logicamente aceitáveis, pois existem teorias que a lógica nos obriga a rejeitar ou a modificar.

A lógica deixa livre a escolha das hipóteses, mas exige que todas essas hipóteses sejam compatíveis entre si, que sejam todas independentes entre si, que uma teoria não tem o direito de invocar hipóteses inúteis; que ela deve reduzir as hipóteses a um número mínimo, que ela não tem o direito de reunir as consequências deduzidas de hipóteses incompatíveis.

A série de deduções que parte das hipóteses e que constitui o desenvolvimento da teoria está submetida, em toda sua extensão e rigor, às leis da lógica. Não é permitido dissimular uma lacuna por menor que ela seja. Se essa lacuna puder ser preenchida, ela deve sê-lo; se ela não puder

(3)H.Poincaré, *Théorie Mathématique de la Lumière*, Prefácio.

ser preenchida, ela deve, pelo menos, ser claramente delimitada e assinalada sob a forma de postulado. *A fortiori*, nenhuma contradição pode ser tolerada.

A comparação dos resultados da teoria com os fatos é uma operação que não está exclusivamente submetida às leis do raciocínio dedutivo. A apreciação do grau de aproximação que pode ser considerado como suficiente possui algo de arbitrário. Mas, se no domínio ao qual a teoria pretende aplicar-se encontramos uma lei experimental que esteja em contradição com as consequências da teoria, esta deve ser rejeitada ou, pelo menos, deve-se restringir a extensão da classe de leis que ela pretendia abarcar.

Manter uma teoria que contradiz os fatos é dar prova de obstinação pueril. Quanto àqueles e eles existem que, encarregados de observar os fatos, dissimulam ou falseiam conscientemente os resultados das experiências para evitar a ruína de uma idéia cujo sucesso adula sua vaidade, não cabe mais à lógica condenar seu erro, mas à moral difamar sua trapaça.

As regras que acabamos de enunciar são banais ou, pelo menos, deveriam sê-lo; elas o eram antigamente.

"As antigas teorias da física nos proporcionavam a esse respeito uma satisfação completa. Todos os nossos mestres, desde Laplace a Cauchy, procederam da mesma maneira. Partindo de hipóteses claramente enunciadas, delas deduziram todas as consequências com rigor matemático e em seguida compararam-nas com a experiência. Eles pareciam querer dar a cada um dos ramos da física a mesma precisão que à mecânica celeste."

"Para um espírito habituado a admirar tais modelos, uma teoria dificilmente é satisfatória. Ele não somente não tolerará a menor aparência de contradição, como exigirá que suas diversas partes sejam logicamente ligadas uma às outras e que o número de hipóteses distintas seja reduzido ao mínimo."⁴

Em nossa época, que dificilmente parece aceitar as regras da lógica, essas exigências parecem exageradas para muitos espíritos, talvez até para os grandes espíritos.

Tomemos um exemplo. Maxwell escreveu um tratado de eletricidade. Nesse tratado ele desenvolve várias teorias diferentes, incompatíveis entre si⁵, talvez até, como sua teoria das pressões no interior dos dielétricos, contraditórias com os princípios mais bem estabelecidos da hidrostática e da elasticidade. Ele não se preocupa em explicar essas contradições, em separar o domínio de cada uma dessas teorias. Ao contrário, ele as mistura e confunde. Separá-las torna-se uma tarefa tão difícil que um notável analista não a considera indigna de seus esforços. Falta a toda essa obra um controle

(4)H.Poincaré, *Electricité et Optique*. I. Les Théories de Maxwell.Introduction.

roduction.

(5)Vide a obra anteriormente citada de H.Poincaré.

experimental preciso. às vezes, os fatos nem mesmo lhe dão razão. Rejeitarão, sem dúvida, os físicos semelhante obra? Eles a desmontarão, peça por peça, guardando somente aquilo que ela pode encerrar de bom entre suas incoerências, para fazê-la entrar numa obra mais unitária, mais logicamente construída? De modo algum: todos admiram a obra do mestre, todos a reproduzem em seu ensinamento, reafirmando o que ela encerra de incompreensível, confessando às vezes com uma espécie de respeito supersticioso que não a compreendem: se os ouvíssemos, pareceria que a ciência tem o direito de propor mistérios a nossa crença!

Não hesitemos em repelir esta fraqueza. Uma teoria ilógica não é um mistério frente ao qual a razão possa se inclinar. Ela é um absurdo que a razão deve rejeitar sem piedade. Pouco importa que devamos essa teoria a um grande físico; uma idéia poderosa pode ser falsa. Admiremos o autor e condenemos a idéia.

Mas a respeito de uma mesma classe de fenômenos pode haver várias teorias, todas fundadas sobre hipóteses claramente enunciadas, todas logicamente construídas, todas em acordo satisfatório com os fatos que elas pretendem representar: a ótica nos oferece um exemplo vivo disso.⁶ Logicamente, todas essas teorias são aceitáveis. Resulta disso que elas sejam todas equivalentes? Nenhum critério lógico decide entre elas. Resulta disso que não possamos ter nenhum motivo razoável para preferir uma à outra?

Três características podem servir para escolher entre essas diferentes teorias, a saber:

- A extensão da teoria;
- O número de hipóteses;
- A natureza das hipóteses.

Duas teorias são apresentadas: uma abarca uma certa classe de fenômenos; a outra abarca, numa representação única, não apenas essa classe de fenômenos, mas ainda outras classes às quais o modo de representação adotado pela primeira não pode se estender. Seguramente, devemos preferir a segunda.

Assim, a teoria da reflexão e da refração dada por Fresnel, boa para os corpos amorfos não pode se estender aos cristais. A teoria de Mac Cullagh e F.E. Neumann abarca, em uma mesma exposição, os corpos amorfos e os cristais. Essa última deve ser preferida à primeira.

Duas teorias da mesma extensão podem invocar um número diferente de hipóteses: aquela que invoca menos hipóteses é seguramente a melhor.

Enfim, e esse é o ponto essencial, quando duas teorias são igualmente extensas e quando contém sensivelmente o mesmo número de hipóteses, a

(6) Vide F.E. Neumann, *Vorlesungen über die Theorie der Elasticität der festen Körper und des Lichtäthers*. H. Poincaré, *Théorie mathématique de la Lumière*.

própria natureza dessas hipóteses pode ainda fornecer um motivo plausível para escolher entre elas. As hipóteses nas quais está baseada uma das teorias podem ser mais simples, mais naturais, traduzir mais imediatamente os dados da experiência que aquelas nas quais está baseada a outra teoria.

Assim, a teoria da dupla refração imaginada por Lamé baseia-se nestas duas hipóteses:

Em cada direção, o meio propaga duas ondas;

A cada uma dessas ondas corresponde uma direção de vibração situada na onda.

O sentido dessas hipóteses é bem claro. Vemos imediatamente quais são as leis físicas, generalizadas, é verdade, mas não dissimuladas, que elas representam. A teoria de Cauchy, ao contrário, faz hipóteses sobre a natureza do éter, cujo sentido físico nos escapa, cuja verificação experimental direta nos falta. Devemos preferir razoavelmente a teoria de Lamé àquela de Cauchy.

Assim, afirmando que a física matemática não é a explicação do mundo material, mas uma simples representação das leis descobertas pela experiência, evitamos a obrigação de declarar verdadeira, para cada ordem de fenômenos, uma teoria por exclusão a qualquer outra. Porém não estamos por isso condenados a adotar todas as teorias, logicamente constituídas, de um mesmo conjunto de leis: para escolher entre elas, possuímos regras seguras que frequentemente nos permitirão preferir razoavelmente uma delas a todas as outras.

9. Do Papel que as Matemáticas e a Experiência devem ter na Constituição de uma Teoria Física

Uma teoria física é uma representação sistemática de um conjunto de leis experimentais. Ela toma como ponto de partida hipóteses escolhidas de maneira a representar algumas dessas leis. Ela as combina por meio do raciocínio matemático para delas extrair conclusões que ela submete ao controle da experiência.

A experiência fornece, portanto, a matéria das definições e hipóteses sobre as quais repousa toda teoria. Todo resultado da teoria deve ser uma lei da experiência. A análise matemática é o instrumento que emprega a matéria para dela extrair os resultados. Essa regra muito simples fixa as relações que o método matemático e o método experimental devem guardar entre si na construção de uma teoria.

As regras mais simples são frequentemente aquelas que são transgredidas mais facilmente. Isso acontece com aquelas que acabamos de enunciar, poucos as respeitam: uns exageram o papel do método experimental, outros a parte da análise matemática.

Para alguns a física deve ser estudada exclusivamente pelo método experimental e, por isso, eles não compreendem essa verdade incontestável de que toda pesquisa física tem a experiência como ponto de partida e como ponto de chegada. Eles pretendem banir o emprego da matemática no estudo da física. Aquela é um instrumento inútil e perigoso, ela não descobre nada ou demonstra apenas erros. aqueles que sustentam essa visão deve-se recusar o título de físicos e o direito de ensinar a física. Só o fato, o fato bruto e isolado deve ser constatado, ensinado e reproduzido. Toda idéia, exatamente por ser idéia, é falsa e condenável.

Não nos demoraremos discutindo essa doutrina, que considera a física ideal como um instrumento registrador.

Igualmente, entre aqueles que professam essa doutrina, há poucos que seguem plenamente em seus escritos os próprios ensinamentos. Eles fazem uso das matemáticas, mas desejam apenas valer-se de certos ramos da análise; há outros ramos que consideram muito elevados e que, por isso, consideram como inúteis. Quando uma definição lhes parece muito minuciosa, uma demonstração difícil demais e um cálculo muito longo, declaram que a física pode deles prescindir e os rejeitam.

Como retratar o estado de confusão no qual essas doutrinas ilógicas mergulharam o estudo dos fenômenos naturais? Para evitar as longas e delicadas definições, emprega-se a cada instante grandezas que não foram suficientemente definidas. Para esquivar-se da complicação de um raciocínio preciso, como, por exemplo, das integrais necessárias para um cálculo exato, aceitam aproximações, mascaram as dificuldades, tomam subterfúgios. Por vezes são verdadeiros jogos de palavras, facilitados pela ausência de definições precisas que servem para construir uma teoria. O espírito, desviado por esses atalhos, perde a noção dos métodos racionais ou, se a conserva, ele abandona com fastio o estudo teórico dos fenômenos naturais para se refugiar no trabalho da pura observação, como a química e a história natural, ou na pesquisa da lógica pura, como as matemáticas abstratas. Esse é um fenômeno que puderam constatar todos aqueles que observaram o efeito produzido pelos ensinamentos da física sobre a inteligência dos alunos aos quais ela se dirige.

O instrumento matemático é necessário para o estudo da física e o físico deve ser capaz de empregar, quando for necessário, todas as peças desse instrumento. Se uma teoria exige considerações analíticas elevadas e complicadas, pode ser bom não expô-la diante de um auditório muito pouco instruído. Porém seria ilógico censurar a complexidade do aparelho que serve para construí-la, a menos que possamos substituir esse aparelho por um outro que seja tão sólido e de um manejo mais fácil.

As matemáticas são, portanto, o instrumento necessário para a construção de toda teoria física, mas elas são só um meio e não um fim. Esse é um princípio que não se deve jamais perder de vista, se desejamos evitar os abusos da física matemática.

Das definições e hipóteses que servem de ponto de partida a uma teoria devem advir as equações fundamentais dessa teoria. A análise matemática procederá com grande cuidado no equacionamento, precisando as condições e as restrições às quais ele está submetido.

As relações que fazem depender entre si as leis às quais se aplica a teoria, exprimem-se por meio das propriedades gerais das equações assim estabelecidas. A análise matemática demonstrará, com o máximo rigor, os teoremas que enunciam essas propriedades e delimitará exatamente o alcance delas.

As consequências da teoria devem ser submetidas ao controle da experiência. A teoria introduz, em geral, a consideração de quantidades, próprias a cada corpo, cujo valor deve ser determinado por medidas. A análise matemática discutirá até os últimos detalhes os problemas particulares que justificam as experiências de controle, ou que servem para instituir os métodos de medida.

Porém, se a análise matemática se interessa em demonstrar teoremas gerais, ainda que esses teoremas não sirvam para estabelecer o elo entre as leis experimentais, se ela esgota seus esforços para resolver problemas particulares sem uso para o experimentador, esquece que no estudo da física ela só deve ser um instrumento. Ela excede seu papel propondo-se como fim ao teórico.

Não se trata de dizer que os esforços assim provocados sejam sempre perdidos. Aperfeiçoando e complicando um instrumento mais que o exigido pelos usos aos quais ele é destinado, pode acontecer que ele se torne próprio a outros usos. Desse modo, os teoremas que o analista deduz de certas equações da física matemática, talvez inúteis para a teoria que forneceu essas equações, podem lançar luz sobre uma outra teoria.

A mecânica celeste, por exemplo, conduz ao estudo das funções harmônicas. Os geômetras descobriram dessas funções uma grande quantidade de propriedades que não têm nenhum emprego na mecânica celeste, entretanto, essas propriedades são de uso contínuo nas teorias do calor, da eletricidade e do magnetismo.

Aliás, os desenvolvimentos analíticos de uma teoria física podem, na falta de aplicação, possuir essa beleza que daria uma razão de ser às matemáticas mesmo se as considerássemos inúteis. Aquele que, aperfeiçoando uma ferramenta, ultrapassa as exigências do útil a ponto de atingir o belo e de gerar uma obra de arte, certamente não perdeu seu tempo e seus esforços.

Porém, se devemos admirar aqueles que das equações de uma teoria física deduzem teoremas próprios a iluminar uma outra teoria, ou aqueles que delas extraem um belo sistema analítico, não podemos senão condenar aqueles para os quais a física é um pretexto para fazer cálculos sem utilidade ou sem beleza: a habilidade de seus artifícios, a complexidade de suas combinações, a sutileza de suas intuições podem surpreender por um

instante; mas, em seguida, afastamo-nos de suas pesquisas com esse sentimento de lástima que todo esforço perdido inspira. Esses são mecânicos que poderiam ter construído uma máquina útil e que apenas inventaram um autômato curioso.

10. Em que a Física Teórica é útil

Vimos qual era a natureza da física teórica, qual significação filosófica era conveniente atribuir a seus resultados e em que proporção a experiência e a análise matemática deviam associar-se para constituí-la. Resta-nos assinalar de maneira precisa de que gênero de utilidade é o estudo dessa ciência.

O fim da física teórica é ligar entre si e classificar os conhecimentos adquiridos pelo método experimental. Sem o vínculo sistemático que a especulação estabelece entre elas, as leis dadas pela experiência formam um amontoado confuso e inextricável. O espírito humano necessita de um fio que o guie nesse labirinto; a teoria fornece esse fio.

A teoria está, portanto, destinada a coordenar as leis descobertas pela experiência: ela não está destinada a fazer descobrir novas leis.

Acontece, às vezes, ao teórico de predizer, como consequência de suas deduções, uma lei experimental que não tinha sido ainda reconhecida pela observação. As descobertas desse gênero impressionam vivamente o espírito, mas elas são raras. A maior parte das descobertas experimentais deve-se, como é justo, ao método experimental. Muitos físicos censuram a teoria pelo pequeno número de fatos novos que ela enunciou. Um conhecimento mais exato do domínio próprio de cada ordem de pesquisa os conduziria a admirar essas predições: são as provas da fecundidade de um método que dá além daquilo que se deve exigir dele.

Se a teoria não tem como objeto fazer descobrir novas leis experimentais, ela tem menos ainda como objeto produzir invenções úteis na prática. As especulações da teoria, as pesquisas experimentais e as aplicações práticas são três domínios distintos que convém não confundir: daqueles que exploram um desses domínios não se deve esperar que façam descobertas nos outros.

Contudo, se esses domínios são distintos, eles não são independentes. O conhecimento de cada um deles auxilia o conhecimento dos outros. Entre os exploradores desses diferentes domínios deve se estabelecer uma contínua troca de questões e de informações.

As necessidades da aplicação sugerem ao experimentador fenômenos a observar, leis a estabelecer. As leis estabelecidas pelo experimentador fornecem ao engenheiro dados que lhe permitem modificar, aperfeiçoar suas invenções. Daí resulta, uma contínua influência da ciência aplicada sobre a ciência experimental e da ciência experimental sobre a ciência aplicada.

Essas leis, às quais chegou o experimentador, são a matéria sobre a qual o teórico trabalha. Ele as classifica e resume em um pequeno número de proposições que permitem ao espírito vê-las num todo e perceber suas relações. Quando os esforços do teórico condensaram assim um grande número de leis em um pequeno número de símbolos simples, claros, fáceis de manejar, o experimentador percebe claramente, em cada parte da física, o que foi feito e o que resta fazer. O engenheiro, captando de um só golpe de vista as inúmeras leis descobertas pela observação, pode rápida e seguramente distinguir aquelas que lhe serão úteis. Certamente, aqueles que realizaram nesses últimos anos tão grandes progressos na indústria eletrônica, não são aqueles que criaram a teoria da eletricidade. Entretanto, se os Paccinoti, os Gramme, os Siemens, os Edison puderam manejar a corrente elétrica e subordiná-la à indústria humana, é porque Ampere, Faraday, Ohm, Kirchhoff, Neumann e Weber puseram-na a serviço da inteligência humana e ensinaram os físicos a manejar as leis às quais essa corrente obedece.

Reconheçamos, portanto, "que não é inútil tentar reunir os fatos sob um mesmo ponto de vista, relacionando-os a um pequeno número de princípios gerais. Essa é a maneira de apreender mais facilmente as leis e penso que os esforços desse gênero podem contribuir, tanto como as próprias observações, para o progresso da ciência."⁷

Tradução de Marta da Rocha e Silva e Mônica Fuchs

(7)Fresnel, *Oeuvres*, t.I, p.484.

FÍSICA E METAFÍSICA

FÍSICA E METAFÍSICA¹

Há algum tempo publicamos nas páginas desta revista² algumas reflexões sobre as teorias físicas; preocupamo-nos sobretudo em assinalar o papel exato das teorias físicas, as quais, segundo nós, são apenas meios de classificar e coordenar as leis experimentais e não explicações metafísicas que nos desvelem as causas dos fenômenos.

Esta idéia não agradou a todos os pensadores. Muitos protestaram contra nossa afirmação e levantaram-se fortemente contra ela. Bem recentemente, um dos membros mais estimados de nossa Sociedade Científica, o Senhor Vicaire, consagrou ao combate de nossa idéia um artigo³ na *Revue des Questions Scientifiques*.

Sem querer abordar aqui todas as objeções explícita ou implicitamente levantadas pelo Sr. Vicaire contra nosso ponto de vista, pensamos que sua tese pode resumir-se fielmente da seguinte maneira:

Não é verdade que a ciência positiva, ao construir suas teorias, tenha simplesmente por objeto classificar as leis experimentais. Seu legítimo objeto é a procura das causas: negá-lo é sustentar uma doutrina suspeita de positivismo e capaz de conduzir ao ceticismo. Esta doutrina, condenada por toda a tradição dos grandes físicos, é perigosa, pois ela mata a atividade científica.

É esta tese, oposta à nossa, que nos propomos combater ponto por ponto.

A fim de evitar qualquer confusão àqueles nossos leitores habituados aos termos da filosofia escolástica, começaremos por uma ressalva importante.

Para ater-nos à linguagem moderna, chamamos *física* ao estudo experimental das coisas inanimadas encarado em suas três fases: a constatação dos fatos, a descoberta das leis, a construção de teorias. Vemos a procura da essência das coisas materiais enquanto causas dos fenômenos físicos como uma subdivisão da *metafísica*, subdivisão que forma com o estudo da matéria viva, a *cosmologia*. Esta divisão não corresponde exatamente à divisão peripatética: o estudo da essência das coisas constitui, na filosofia peripatética, a *metafísica*; o estudo do *movimento* das coisas

(1)Este artigo foi publicado com o título "Physique et Métaphysique", *Revue des Questions Scientifiques*, XXXIV, 1893, p.55-83.

(2)Pierre Duhem, "Quelques réflexions au sujet des théories physiques", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a.série, tomo I, 1892.

(3)E. Vicaire, "De la valeur objective des hypothèses physiques", *Ibid.*, tomo III, 1893.

materiais, isto é, das modificações que a essência dessas coisas sofreu por qualquer passagem da potência ao ato, é a *física*. A física e a metafísica peripatéticas são reunidas sob o nome de *metafísica* em nossa linguagem moderna; a *física* peripatética é nossa *cosmologia*. Quanto ao estudo experimental das leis físicas e sua reunião em teorias, a filosofia peripatética não dá a esta ciência um nome especial; um só ramo dessa ciência, a *astronomia*, tinha, na época de Aristóteles, um desenvolvimento capaz de chamar a atenção. Também aquilo que diremos em geral da *física*, entendida no sentido moderno, corresponde mais ou menos àquilo que os antigos diziam da *astronomia*.

1. Distinção entre a Física e a Metafísica

A inteligência do homem não possui o conhecimento direto, a visão imediata da essência das coisas exteriores; o que conhecemos diretamente dessas coisas são os fenômenos (dos quais elas são a fonte) e a sucessão desses fenômenos.

Do conhecimento dos fenômenos podemos extrair um certo conhecimento das próprias coisas, porque elas são as causas eficientes desses fenômenos e porque o conhecimento de um efeito nos fornece algumas informações sobre a substância que causa esse efeito, sem nos dar entretanto um conhecimento pleno e adequado dessa substância.

Assim, para adquirir uma compreensão do mundo exterior tão completa quanto o permitam nossos meios de conhecer, precisamos escalar sucessivamente dois degraus da ciência: precisamos, em primeiro lugar, estudar os fenômenos e estabelecer as leis segundo as quais eles se dão; em segundo lugar, induzir desses fenômenos as propriedades das substâncias que os causam.

A segunda dessas ciências é aquela que recebeu o nome de *metafísica*. A primeira divide-se em diversos ramos, segundo a natureza dos fenômenos estudados. O ramo da ciência que estuda os fenômenos, cuja fonte é a matéria inanimada, tem nos dias de hoje o nome de *física*.

Quando, naquilo que se seguir, falarmos da metafísica, estaremos sempre falando da parte da metafísica que trata da matéria não viva e que, por conseguinte, corresponde à física pela natureza das coisas que estuda. Esta parte da metafísica é frequentemente chamada de *cosmologia*.

Podemos resumir o que acabamos de dizer nas duas seguintes definições:

A física é o estudo dos fenômenos, cuja fonte é a matéria bruta, e das leis que os regem.

A cosmologia procura conhecer a natureza da matéria bruta, considerada como causa dos fenômenos e como razão de ser das leis físicas.

Há, portanto, entre a metafísica e a física, uma diferença de natureza.

Todavia, convém não se enganar sobre a origem desta distinção: ela não decorre da natureza das coisas estudadas, mas apenas da natureza de nossa inteligência. Uma inteligência que tivesse a visão direta, intuitiva, da essência das coisas – tal inteligência, segundo o ensinamento dos teólogos, seria angélica não faria distinção entre a física e a metafísica; essa inteligência não conheceria sucessivamente os fenômenos e a substância, causa desses fenômenos; ela conheceria simultaneamente a substância e suas modificações. Aconteceria o mesmo com uma inteligência que tivesse da essência das coisas não uma intuição direta, mas uma visão adequada, se bem que indireta, pela visão beatífica do pensamento divino.

2. Na Ordem Lógica, a Física precede a Metafísica

O conhecimento que a metafísica nos fornece das coisas é mais íntimo, mais profundo que aquele que nos é fornecido pela física. Ela ultrapassa, portanto, esta última em excelência; porém, se a metafísica possui prioridade sobre a física na ordem de excelência, ela vem após a física na ordem lógica. Podemos conhecer a essência das coisas apenas enquanto essa essência é a causa e a razão de ser dos fenômenos e das leis que os regem. O estudo dos fenômenos e das leis deve, portanto, preceder a procura das causas. É dessa maneira que, quando se sobe uma escada, o degrau mais elevado é aquele que se alcança por último.

Essa prioridade lógica da física sobre a metafísica é um ponto essencial, sobre o qual devemos insistir para evitar qualquer mal-entendido.

Eis, em primeiro lugar, uma proposição que não nos parece poder ser contestada.

Nenhuma pesquisa metafísica concernente à matéria bruta pode ser feita logicamente antes de se ter adquirido um certo conhecimento de física.

Com efeito, é evidente que não se pode pensar em pesquisar o que quer que seja sobre as causas dos fenômenos antes de ter estudado esses mesmos fenômenos e ter adquirido a respeito deles um certo conhecimento.

Mas uma vez que um certo conhecimento da física permitiu as primeiras pesquisas metafísicas e que essas pesquisas forneceram algumas informações sobre a natureza das coisas materiais, não se poderá seguir a ordem inversa, descer a escada que se subiu e, daquilo que se sabe sobre a natureza das coisas materiais, deduzir os fenômenos que se devem produzir e as leis a que esses fenômenos obedecem?

Negar de uma maneira absoluta a possibilidade de um tal caminho do espírito parece-nos no mínimo temerário. Teoricamente é possível que o conhecimento da natureza das coisas, obtido pela metafísica, permita estabelecer, por via dedutiva, uma verdade física; mas, praticamente, o método que consistiria em tomar a metafísica como ponto de partida na

descoberta de verdades físicas se mostra muito difícil e cheio de perigos. É fácil descobrir a razão disso.

O conhecimento completo e adequado das substâncias acarreta o conhecimento completo e adequado dos fenômenos que elas podem produzir; o conhecimento das causas implica o conhecimento dos efeitos. Porém a recíproca desta proposição não é exata. Um efeito pode ser produzido por inúmeras causas diferentes, de sorte que o conhecimento, mesmo inteiro e completo, de um conjunto de fenômenos não nos poderia fornecer o conhecimento completo das substâncias nas quais se produzem.

Quando, portanto, partindo de certos conhecimentos físicos, tão perfeitos e extensos quanto se quiser, ascendemos dos efeitos às causas para obter uma metafísica, adquirimos da essência das coisas materiais um conhecimento altamente incompleto, altamente imperfeito. Esse conhecimento procede antes por negações que por afirmações, antes por exclusão de certas hipóteses que poderiam ser feitas sobre a natureza das coisas que por certas informações positivas sobre essa natureza. É somente em alguns casos raros que, por exclusão de todas as hipóteses possíveis exceto uma, chegamos a adquirir um documento positivo sobre a essência das coisas materiais.

A fim de compreender bem esse ponto essencial, importa não confundir jamais as *verdades metafísicas bem estabelecidas* com os *sistemas metafísicos*. As verdades metafísicas são proposições pouco numerosas e, na maioria, com a forma negativa, que obtemos ascendendo dos fenômenos observados às substâncias que os causam. Um sistema metafísico, ao contrário, é um conjunto de juízos positivos, porém em sua maioria hipotéticos, através dos quais um filósofo procura ligar entre si, em uma ordem lógica e harmoniosa, as verdades metafísicas. Um sistema como esse é aceitável, quando nenhuma das hipóteses das quais ele é composto se choca com uma verdade metafísica estabelecida; porém ele permanece sempre problemático em alto grau e nunca se impõe à razão de maneira inexpugnável.

O que acabamos de dizer a respeito das verdades metafísicas mostra com evidência como essas verdades não podem quase nunca tornar-se o ponto de partida de uma dedução que resulte numa descoberta física. Quando, apoiando-nos sobre o conhecimento de um conjunto de fenômenos, chegamos a demonstrar a impossibilidade de certas suposições relativas às substâncias nas quais se produzem esses fenômenos, a adquirir até mesmo algumas informações positivas a respeito dessas substâncias, a visão que temos delas permanece extremamente geral, muito pouco *determinada*, para nos fazer descobrir uma lei física nova.

Os sistemas metafísicos propõem uma definição da natureza das coisas mais detalhada, mais determinada, que aquela que nos é fornecida pelas verdades metafísicas demonstradas; por isso, os sistemas metafísicos tornam-se, mais facilmente do que as simples verdades metafísicas, capazes

de conduzir-nos a consequências físicas; mas, enquanto que uma consequência física deduzida de proposições metafísicas certas participaria da certeza destas últimas, uma consequência física deduzida de um sistema metafísico é atingida pelo caráter duvidoso, problemático que afeta o sistema. Ela não pode ser considerada como estabelecida. Ela é tão somente uma indicação que a física terá de examinar e sobre a qual se pronunciará soberanamente.

Em resumo, *se não é impossível, pelo menos é extremamente difícil deduzir de verdades metafísicas bem estabelecidas uma verdade física nova. Quanto aos sistemas metafísicos, eles podem sugerir uma proposição da física, mas somente a física poderá decidir se essa proposição é exata ou inexata.*

3. A Física assenta em Princípios Evidentes em si e Independentes de qualquer Consideração Metafísica

Já que é impossível, senão em teoria, pelo menos na prática, fazer surgir qualquer verdade nova na física a partir dos conhecimentos metafísicos que podemos adquirir sobre a natureza das coisas, é preciso necessariamente que a física possa se constituir por um método próprio, independente de qualquer metafísica. Este método que permite estudar os fenômenos físicos, descobrir as leis que os encadeiam, sem recorrer à metafísica, é o *método experimental*.

Esse método emprega um certo número de noções, por exemplo, as noções de fenômeno físico e de lei física, de corpo, de extensão, de tempo, de movimento; ele assenta em certos princípios, tais como os axiomas da geometria e da cinemática, tais como a existência de leis determinando o encadeamento dos fenômenos físicos.

Para usar essas noções, para fazer uso desses princípios, não é necessário saber metafísica; em si mesmos esses princípios, essas noções, aparecem a nossa inteligência suficientemente certos e distintos para que possamos, sem receio de confusão nem de erro, colocá-los em uso através do método experimental. De fato, muitos físicos utilizam com segurança, precisão e fecundidade essas noções e princípios, fundamentos da ciência, que eles aprofundam e desenvolvem, sem se interrogarem por um único instante sobre o que viria a ser do ponto de vista metafísico um corpo ou uma lei.

É nesse sentido que se pode enunciar a seguinte proposição: *o método experimental assenta em princípios evidentes em si e independentes de toda e qualquer metafísica.*

Não resulta disso que esses fundamentos do método experimental escapem às garras da metafísica e não possam tornar-se objetos de estudo dessa ciência. Independentemente de qualquer pesquisa metafísica, temos a noção de corpo, a noção de lei, de uma maneira suficientemente distinta para

poder fazer uso legítimo dessas noções em todas as pesquisas da física. Independentemente de toda pesquisa metafísica, sabemos que todos os fenômenos que têm sua origem na matéria estão submetidos à leis fixas e a certeza desse princípio é tal que podemos, sem hesitação, consagrar nossa vida à descoberta dessas leis. Mas do fato de possuímos uma compreensão dessas noções, uma confiança nesse princípio, suficientes para que possamos fazer uso dessas noções e desse princípio no decorrer de nossas pesquisas experimentais, não resulta que essa compreensão seja totalmente clara e completa, que os fundamentos sobre os quais repousa essa confiança nos sejam conhecidos, que não nos reste mais nada a aprender em relação a essas questões. Por exemplo, temos do corpo uma idéia suficiente para que estejamos seguros de não tomar por um corpo alguma coisa que não o fosse. Isso não quer dizer que saibamos de uma maneira completa e adequada em que consiste um corpo. Disso não decorre que nos seja proibido pesquisar, na medida do possível, e oferecer ao exame metafísico os fundamentos do método experimental, a fim de penetrar desse modo a essência e a razão de ser desse método.

Mas esta pesquisa metafísica, por mais importante que seja em si mesma, não tem contrapartida no método experimental. Ao procurar por-nos metafisicamente a par de uma dessas noções, de um desses princípios nos quais assenta a física, não modificaremos em nada o uso que convém fazer na física dessa noção, ou desse princípio. Ponha-se lado a lado um físico filósofo que passou suas madrugadas a remoer a noção metafísica de corpo e um outro físico que, voltado exclusivamente para sua própria ciência, jamais refletiu sequer cinco minutos sobre essa mesma noção; os dois, na prática experimental, farão o mesmo uso dessa noção. Aquilo que essa noção tem de evidente em si é o que é necessário e suficiente na física. O que a metafísica descobre depois nessa noção é absolutamente inútil para aquele que é somente físico, e que não deseja ser outra coisa.

Assim, pertence à metafísica inteirar-se dos fundamentos, evidentes em si mesmos, nos quais assenta a física; mas esse estudo não acrescenta nada a suas certeza e evidência no domínio da física.

4. As Teorias Físicas são Independentes da Metafísica e Reciprocamente

Toda ciência experimental é composta de pelo menos duas fases: a constatação dos fatos e sua redução a leis; mas naquelas que, como a física, atingiram um grau suficiente de perfeição, uma terceira fase se acrescenta às outras duas: a fase teórica. Sem ela, as leis experimentais formariam um amontoado confuso e inextricável onde o espírito sofreria terrivelmente para se orientar, onde ele dificilmente descobriria a lei que deveria utilizar em cada caso particular. *A teoria tem por fim classificar as leis experimentais.*

Entre um conjunto de leis experimentais tomadas tais como a experiência as fez descobrir e o mesmo conjunto de leis ligadas por uma teoria existe a mesma diferença que entre um punhado de documentos amontoados em desordem e os mesmos documentos cuidadosamente classificados em uma coleção metódica. São os mesmos documentos; eles dizem exatamente a mesma coisa e da mesma maneira; porém, no primeiro caso, sua desordem os torna inúteis, pois nunca se está seguro de encontrar o documento de que se tem necessidade no momento em que dele se precisa, enquanto que, no segundo caso, esses documentos se tornam fecundos através de um agrupamento metódico que coloca o documento desejado nas mãos do pesquisador de um modo seguro e sem trabalho.

As leis físicas guardam exatamente o mesmo sentido quando uma teoria as conecta ou quando essas leis estão espalhadas e isoladas. Elas não nos ensinam nada a mais no primeiro caso do que no segundo, apenas no primeiro caso elas são mais fáceis de serem manipuladas, mais aptas a serem empregadas do que no segundo. A ciência física não muda portanto de caráter e de importância tornando-se teórica. Ela adquire uma forma mais perfeita, melhor ordenada, mais simples e conseqüentemente mais bela; no fundo, permanece a mesma – continua física, não se torna metafísica. *A teoria física, ao classificar um conjunto de leis experimentais, não nos ensina absolutamente nada sobre a razão de ser dessas leis e sobre a natureza dos fenômenos que elas regem.*

Assim compreendida, reduzida dessa forma a seu verdadeiro papel, a teoria física torna-se, tal como a física em geral, absolutamente independente da metafísica, visto que nenhuma das proposições cujo conjunto constitui uma teoria física é um juízo sobre a natureza das coisas, nenhuma dessas proposições jamais pode estar em contradição com uma verdade metafísica, que é sempre um juízo sobre a natureza das coisas. Esta diferença essencial entre uma proposição da física teórica e uma verdade metafísica mostra igualmente que uma nunca pode ser idêntica à outra. *É, portanto, absurdo procurar entre as verdades metafísicas, seja a confirmação, seja a condenação de uma teoria física, pelo menos enquanto esta permanecer confinada ao domínio que lhe é próprio.*

Reciprocamente, visto que uma teoria física, classificando um conjunto de leis, não acrescenta absolutamente nada ao conteúdo dessas leis, ela não fornece como ponto de partida para a pesquisa metafísica nenhum outro dado além daqueles que se poderia obter dessas mesmas leis não classificadas, não reduzidas à teoria. Conseqüentemente, enquanto as leis físicas são o ponto de partida lógico de toda pesquisa metafísica relativa à essência das coisas materiais, as teorias físicas não poderiam exercer nenhuma influência direta sobre os progressos dessa pesquisa. Se elas ajudam a metafísica, é indiretamente, tornando as leis físicas que elas classificam e resumem mais facilmente presentes ao espírito do filósofo. *A subordinação que uma teoria estabelece entre as diversas leis físicas, com o*

objetivo de classificá-las, não nos obriga de maneira alguma a admitir uma subordinação semelhante entre as leis metafísicas das quais essas leis físicas são a manifestação.

Pode-se resumir as duas proposições, que acabamos de enunciar, dizendo que *as teorias físicas e as verdades metafísicas são independentes entre si.*

Como este é o ponto essencial de nossa discussão, damos ainda alguns esclarecimentos, a fim de evitar qualquer engano.

Imaginemos que tenhamos chegado a um conhecimento metafísico aprofundado, detalhado da essência das coisas materiais. As leis físicas, que decorrem dessa essência, nos apareceriam em uma ordem, uma subordinação, que resultariam de sua própria natureza. É certo que essa ordem nos proporcionaria a mais perfeita classificação dessas leis. É certo que uma explicação metafísica completa da natureza das coisas materiais nos forneceria, *ipso facto*, a mais perfeita das teorias físicas. Mas, convém notar, mesmo se conhecêssemos essa teoria física, reprodução da ordem metafísica, ainda seríamos logicamente livres para adotar uma outra, para encadear as leis físicas em uma ordem diferente, para aceitar um outro modo de representação dos fenômenos físicos. Sem dúvida, rejeitando a primeira teoria, seríamos pouco razoáveis, porque ela é mais perfeita; pecaríamos contra a lei que manda que em qualquer ordem de coisas escolhamos aquela que é mais excelente, porém não violaríamos nenhum princípio da lógica, não cometeríamos nenhum absurdo. Uma classificação, com efeito, não é um juízo. Ela pode ser conveniente ou inconveniente, boa ou má; ela não pode ser verdadeira, nem falsa.

Além disso, a hipótese ao lado da qual acabamos de nos colocar é puramente ideal. Nossos conhecimentos metafísicos certos, como o dissemos, são muito pouco determinantes, possuem um caráter muito negativo, para nos assinalar qual a ordem em que as diversas leis físicas se subordinam entre si, para nos dar dessas leis uma classificação suscetível de ser erigida como teoria física. Para deduzir da metafísica uma teoria física determinada, é preciso apoiar-se não somente em verdades metafísicas demonstradas, mas em um sistema metafísico. De fato, não existe quase nenhum sistema metafísico que não tenha procurado estabelecer teorias físicas; porém, um sistema metafísico, por mais aceitável, por mais satisfatório que o supnhamos, é sempre altamente hipotético. Nunca é, portanto, evidente que uma teoria física deduzida de um sistema metafísico seja melhor que uma outra teoria estabelecida independentemente de qualquer consideração sobre a essência das coisas.

Assim, uma teoria física, enquanto permaneça em seu domínio próprio e enquanto se proponha somente a classificar as leis experimentais, é absolutamente independente de toda metafísica. Não somente ela não depende de sistemas metafísicos mais ou menos verossímeis que são compartilhados pelas diversas escolas filosóficas, mas ela é ainda

independente de verdades metafísicas bem estabelecidas relativas à essência das coisas materiais, de modo que ela permanece igualmente aceitável, não somente por aqueles que sustentam os sistemas metafísicos mais diversos, mas ainda por aqueles que negariam as verdades metafísicas melhor demonstradas. Aquartelada no seu forte, ela teme apenas dois adversários: os físicos que a contestam, seja em nome da experiência, seja em nome de outras teorias físicas e os céticos que negam a evidência e a certeza de quaisquer noções e princípios nos quais assente logicamente a ciência experimental. Estes últimos, a física não está preparada para combatê-los, não está armada para isso. Cabe à metafísica mostrar que os fundamentos do método experimental são sólidos. O físico é obrigado a admitir essa verdade como evidente; sobre o terreno próprio de suas teorias, o físico pode somente aceitar e somente deve aceitar combater com o físico.

5. A Tese anteriormente exposta não é nem Cética nem Positivista

Acabamos de expor a tese essencial, para nós, da mútua independência entre as teorias físicas e as pesquisas metafísicas. Tentemos agora dissipar algumas objeções freqüentemente levantadas contra esta tese.

Afirmar a separação natural que existe entre as teorias físicas e as doutrinas metafísicas é abrir uma porta ao ceticismo? Seria fazer uma concessão ao positivismo?

É quase impossível marcar os justos limites de uma ciência, aqueles que lhe são impostos seja pela natureza dos objetos que ela estuda, seja pela natureza de nosso espírito, sem logo ouvir uma acusação de ceticismo. Parece a alguns que cada um dos métodos lógicos de que dispõe nossa razão é onipotente; que cada um deles pode abordar todos os temas e revelar os segredos mais escondidos. Na oficina do conhecimento humano, cada instrumento é apropriado, segundo eles, às mais diferentes tarefas e nossa inteligência se parece um pouco com aquele químico que se vangloriava de saber limar com uma serra e serrar com uma lima. Funesta pretensão do dogmatismo, que engendra os piores erros e fornece ao ceticismo seus mais perturbadores argumentos! Interrogue-se uma alma atormentada pela dúvida, não por essa dúvida fácil e leviana nascida da preguiça e da vaidade, mas pela dúvida ansiosa e dolorosa, nascida da análise e da meditação. Procure-se por qual caminho a dúvida penetrou nessa alma. Pergunte-se como desapareceu a sua fé na razão. Sempre se receberá uma resposta semelhante: ela sempre desesperou porque as deduções cuidadosamente ligadas a conduziam a uma conclusão manifestamente falsa, porque uma áspera pesquisa se recusava a produzir o resultado esperado. Examine-se então de onde poderia vir esse erro, de onde proviria essa esterilidade: sempre de uma extensão ilegítima dada a um método lógico legítimo. A

ferramenta era capaz de uma obra determinada, o artesão lhe quis dar um outro destino. Foi em vão que a manejou durante tanto tempo, que usou suas forças, desdobrou sua destreza, mas nada fez ou fez apenas más tarefas; então, desgostoso, atirou a ferramenta para longe e cruzou os braços.

Deseja-se trazer de volta ao trabalho esse desanimado? Pretende-se evitar que, no futuro, ele se engane e se decepcione? Ensine-se a ele o uso exato de seus utensílios; ensine-se que uma serra serve para serrar e uma lima para limar. Acontece o mesmo com os meios de conhecer que Deus colocou à disposição de nossa razão. Nada é mais apropriado para favorecer o ceticismo que confundir os domínios das diversas ciências. Nada, pelo contrário, é mais eficaz contra essa tendência dissolvente que a definição exata dos diversos métodos e a demarcação precisa do campo que cada um deles deve explorar.

Negando à metafísica o direito de reger as pesquisas físicas, negando às teorias físicas o direito de se erigirem em explicações metafísicas, seríamos positivistas? Sustentamos que as ciências positivas devem ser tratadas por métodos próprios às ciências positivas. Sustentamos que esses métodos repousam sobre princípios evidentes em si e podem funcionar independentemente de toda pesquisa metafísica. Sustentamos que esses métodos, eficazes na observação dos fenômenos e na descoberta de leis, são incapazes de apreender as causas e atingir as substâncias; mas isso não é ser positivista. Ser positivista é afirmar que não há outro método lógico que o método das ciências positivas. É afirmar que aquilo que é inabordável através desse método, que aquilo que é incognoscível para as ciências positivas, é em si e absolutamente incognoscível. É isso que afirmamos?

Deseja-se fazer o jogo do positivismo? Confunda-se o domínio da metafísica com o domínio da física, o método metafísico com o método experimental. Faça-se a discussão das teorias físicas com razões tiradas dos sistemas metafísicos. Englobe-se nos sistemas metafísicos as teorias das ciências positivas. O positivista não terá trabalho em demonstrar que os métodos físicos não podem atingir as conseqüências que deles se pretende deduzir e disso concluirá que os fundamentos da metafísica estão destruídos. Ele não terá trabalho em demonstrar que nossas deduções metafísicas nada podem a respeito das teorias físicas apoiadas sobre leis experimentais e disso concluirá que a metafísica foi condenada por suas conseqüências.

Se não se estabelecer uma separação radical entre a física e a metafísica, se elas forem confundidas, ter-se-á que reconhecer que o método físico é bom mesmo na metafísica. É dar ganho de causa ao positivismo.

6. A Tese anterior do ponto de vista da Tradição

Aqueles que combatem a tese anterior se pretendem apoiados na tradição. Segundo eles, todos os grandes pensadores, todos os grandes sábios

consideraram as teorias físicas como uma tentativa, como um progresso em direção à explicação metafísica das coisas; todos procuraram não classificar os fenômenos, mas descobrir neles as causas. Foi a esperança de dar a razão dos efeitos físicos que lhes deu a coragem de prosseguir com suas pesquisas e a fecundidade dessas mostra-nos com evidência que essa esperança não era uma ilusão.

Nada é mais falso, do ponto de vista histórico, que essa maneira de encarar a tradição.

Aristóteles e a filosofia peripatética admitiam, quanto às relações entre a física e a metafísica, uma tese que concorda essencialmente com aquela que nós desenvolvemos. Aplicavam-na somente à astronomia, único ramo da física que estava desenvolvido naquela época, mas o que diziam do movimento dos astros estende-se, sem dificuldade, a outros fenômenos naturais. "Eles separavam nitidamente⁴ a astronomia, ciência dos fenômenos celestes, da pesquisa das causas dos movimentos dos astros e das especulações sobre a realidade e a não-realidade desses movimentos. Os estudos desse gênero eram reservados à física, isto é, àquela parte da filosofia chamada hoje *cosmologia*. Desde então, a escolha das hipóteses astronômicas foi para eles uma coisa indiferente e não havia nenhum inconveniente em adotar o ponto de vista geocêntrico, mais conforme às aparências e de aplicação mais direta que o outro."

Schiaparelli cita, a respeito disso, uma passagem característica de Posidonius (ou de seu abreviador Geminus) conservada por Simplício, o comentador de Aristóteles: "É indiferente para o astrônomo saber o que é imóvel e o que se move. Ele pode admitir toda hipótese que represente os fenômenos, por exemplo, aquela que é relatada por Heráclito Ponticus, segundo a qual a anomalia dos planetas em relação ao Sol é explicada por meio de um movimento da Terra em torno do Sol, considerado como fixo. O astrônomo deve em seguida recorrer aos físicos para os princípios fundamentais de suas pesquisas".

Todos os comentadores de Aristóteles adotam a opinião tão claramente expressa na passagem acima citada. É assim que S. Tomás de

(4) Este texto foi publicado com o título "Physique et Métaphysique", *Revue des Questions Scientifiques*, XXXIV, 1893, p. 55-83.

Aquino, no comentário do *De Coelo* de Aristóteles, se exprime da seguinte maneira sobre as hipóteses dos astrônomos (Ad.Lect.XVII,Lib.II) :

"Illorum (astrologorum) autem suppositiones quas adinverunt, non est necessarium esse veras: licet enim talibus suppositionibus factis appareant solvere, non tamen oportet dicere has suppositiones esse veras, quia forte secundum aliquem alium modum nondum ab hominibus comprehensum apparentia circa stellas salvatur. Aristoteles tamen utitur hujusmodi suppositionibus ad qualitatem motuum tanquam veris."⁵

Não são apenas os filósofos da Antigüidade e da Idade Média que separam as hipóteses puramente representativas, sem alcance metafísico, das quais o físico se serve para classificar os fatos, da explicação verdadeira desses mesmos fatos; os astrônomos, os físicos ajustam seus escritos a esses princípios.

Por exemplo, quando Arquimedes resolve escrever uma teoria matemática dos corpos flutuantes – a primeira teoria matemática que foi composta – ele não procura saber o que os líquidos são em si mesmos e descobrir a razão de ser metafísica de suas propriedades. Ele se contenta em enunciar uma proposição, que ele chama *hipótese*, e demonstrar que as leis físicas dos corpos flutuantes podem ser deduzidas logicamente dessa hipótese. A hipótese fundamental de Arquimedes pode ser enunciada da seguinte maneira:

"Suponhamos que todo líquido seja de tal natureza que, se considerarmos as partes em contacto situadas sobre uma mesma superfície normal à direção da gravidade, a menos empuxada cede àquela que o é mais. Dizemos ainda que cada uma das partes é empuxada pelo líquido que está acima dela segundo a perpendicular."⁶

Vê-se claramente, pela própria natureza desta hipótese, que ela não pretende ser uma explicação metafísica das propriedades dos líquidos. A

(5)"As suposições (daqueles astrólogos) às quais eles chegaram não é necessário que sejam verdadeiras; é aceitável que tais suposições, tendo sido feitas, pareçam resolver os fatos; entretanto, não se deve dizer que essas suposições são verdadeiras, porque, talvez segundo um ou outro modo ainda não compreendido pelos homens, a aparência acerca das estrelas seja salva. Aristóteles, entretanto, usa desse modo as suposições sobre a qualidade do movimento como verdadeiras."

(6)"*Supponatur humidum habens talem naturam ut partibus ipsius ex aequo jacentibus et existentibus continuis expellatur minus pulsa a magis pulsa, et unaquaeque autem partium ipsius pellatur humido quod supra ipsius existente secundum perpendicularem*". Cf. "Le traité des corps flottants d'Archimede", trad. Adrien Legend, *Journal de Physique*, 2a. série, tome X, p. 437-457, 1891.

razão de ser dessas propriedades não se torna de nenhum modo mais aparente, quando Arquimedes mostra que se pode extraí-la logicamente da proposição precedente. Somente essas propriedades são então classificadas e condensadas, de modo que a primeira teoria da física matemática que foi escrita é ao mesmo tempo o modelo das teorias tal como as entendemos.

Copérnico⁷ procede em Astronomia como Arquimedes em hidroestática. "Reencontrou-se nos nossos dias uma espécie de resumo ou o anúncio de seu livro das *Revoluções*, resumo que ele escreveu por volta de 1530. O título desse opúsculo é *Nicolai Copernici de Hypothesisibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*. No seu preâmbulo ele diz que irá explicar o sistema do mundo melhor que seus antecessores: "Si nobis aliquae PETITIONES, quas axiomata vocant concedantur"⁸ Seguem-se sete postulados, onde ele pede que se lhe conceda a imobilidade do Sol, a mobilidade da Terra, a enorme distância das estrelas, etc."

"Na *Narratio Prima* de Rheticus, o mais extenso anúncio escrito sob inspiração e sem dúvida sob os olhos de Copérnico, em lugar algum se trata de hipóteses, antigas ou novas."

"O mesmo se passa no livro das *Revoluções*. Em apenas dois capítulos, Copérnico deixa o terreno da astronomia para abordar o terreno da física, no sentido aristotélico, isto é, da cosmologia. Em um deles (lib.I, cap.VII), ele expõe as razões de Ptolomeu em favor da imobilidade da Terra; no outro (cap.VIII) ele tenta mostrar que essas razões são pouco probatórias colocando-se do ponto de vista da física. Ele conclui modestamente: "Vides ergo quod ex his omnibus PROBABILIOR sit mobilitas terrae quam ejus quies, praesertim in quotidiana revolutione, tanquam terrae maxime propria."⁹

"Mas, em todo resto da obra, ele escreve do ponto de vista fenomênico. Ele se contenta em dar uma explicação sistemática dos movimentos celestes, *solis immobilitate concessa*, ou *per assumptam telluris mobilitatem*¹⁰, como ele diz em muitas ocasiões."

"O autor (provavelmente Osiander) do prefácio anônimo do livro das *Revoluções* resumiu, portanto, ao mesmo tempo a tradição tomista e o

(7) Aquilo que se segue relativo a Copérnico foi extraído de P. Mansion, *loc.cit.*

(8) "Se nos forem concedidos alguns postulados que eles chamam axiomas."

(9) "Vê, portanto, que a partir de tudo isso a mobilidade da Terra é mais provável que o repouso dela, sobretudo na revolução quotidiana, à medida que maximamente própria da terra."

(10) "Concedida a imobilidade do Sol ou supondo-se a mobilidade da terra."

pensamento de Copérnico, ao invés de traí-lo, como se disse freqüentemente, ao escrever a seguinte passagem: "Neque enim necesse est eas hypotheses esse veras, imo ne verisimiles quidem, sed sufficit hoc unum si calculum observationibus congruentem exhibeant... Neque quisquam, quod ad hypotheses attinet, quicquam CERTI ab astronomia expectet, cum ipsa nihil praestare queat."¹¹

No fim do século XVI e início do século XVII o espírito humano sofreu uma das maiores revoluções que subverteram o mundo do pensamento. As regras lógicas, traçadas pelo gênio grego, tinham sido aceitas até então com uma inteligente docilidade pelos mestres da Escola, depois com uma estreita servilidade pela escolástica em decadência. Nesse momento, os pensadores a rejeitam; pretendem, então, reformar a lógica, forjar de novo os instrumentos dos quais a razão humana se serve e, com Bacon, criar um *novum organum*. Quebram as linhas de demarcação estabelecidas pelos peripatéticos entre os diversos ramos do saber humano; o *distinguo*, que servia para delimitar exatamente as questões e para marcar a cada método o campo que lhe é próprio, torna-se um termo ridículo do qual se apodera a comédia. Vê-se, então, desaparecer a velha barreira que separava o estudo dos fenômenos físicos e de suas leis da procura das causas; então, vê-se as teorias físicas tomadas por explicações metafísicas, os sistemas metafísicos procurando estabelecer, por via dedutiva, teorias físicas.

A ilusão de que as teorias físicas atingem as verdadeiras causas e a própria razão das coisas penetra em todos os sentidos os escritos de Kepler e Galileu. As discussões que compõem o processo de Galileu seriam incompreensíveis a quem não visse nisso a luta entre o físico que quer que suas teorias sejam não somente a representação, mas ainda a *explicação* dos fenômenos e os teólogos que mantêm a velha distinção e não admitem que os raciocínios físicos e mecânicos de Galileu tenham qualquer coisa contra sua cosmologia.

Mas, aquele que mais contribuiu para romper a barreira entre a física e a metafísica foi Descartes.

O método de Descartes põe em dúvida os princípios de todos os nossos conhecimentos e os deixa entregues a essa dúvida metódica até o momento em que o método chega a demonstrar a legitimidade desses princípios por uma longa cadeia de deduções iniciada pelo célebre "Penso, logo existo". Nada mais contrário que um semelhante método à idéia peripatética, segundo a qual uma ciência tal como a física assenta em

(11)"Nem é pois necessário que essas hipóteses sejam verdadeiras, nem mesmo verossímeis, mas basta só isso: que mostrem um cálculo congruente com as observações... Ninguém no que diz respeito às hipóteses, espere algo de CERTO da astronomia, porque ela nada disso pode fornecer."

princípios evidentes por si mesmos, dos quais a metafísica pode investigar a natureza, mas não pode aumentar a certeza.

A primeira proposição da física que Descartes estabelece, ao seguir seu método, lhe fornece, segundo ele, o conhecimento da própria essência da matéria. "A natureza do corpo consiste apenas em que ele é uma substância que tem extensão". Sendo assim conhecida a essência da matéria, poder-se-á, pelo método da geometria, deduzir dela a explicação de todos os fenômenos naturais." Eu não aceito princípios na física", diz Descartes, resumindo o método pelo qual ele pretende tratar essa ciência, "que não sejam também aceitos na matemática, a fim de poder provar por demonstração tudo aquilo que deles deduzirei e estes princípios bastam, tanto mais que todos os fenômenos da natureza podem ser explicados por seu intermédio."

Essa é a audaciosa fórmula da cosmologia cartesiana. O homem conhece a própria essência da matéria, que é a extensão. Ele pode, portanto, deduzir logicamente dela todas as propriedades da matéria. A distinção entre a física, que estuda os fenômenos e suas leis, e a metafísica, que procura apreender alguns ensinamentos sobre a essência da matéria enquanto causa dos fenômenos e razão de ser das leis, se encontra desprovida de fundamento. O espírito não parte do conhecimento do fenômeno para se elevar em seguida ao conhecimento da matéria. Aquilo que ele conhece de início é a própria natureza da matéria; decorre disso a explicação dos fenômenos.

Esta fórmula audaciosa, Descartes a conduz até às últimas conseqüências. Ele não se limita em afirmar que a explicação de todos os fenômenos naturais pode ser deduzida desta proposição: "a essência da matéria consiste na extensão". Ele tenta fornecer detalhadamente essa explicação; procura construir o mundo partindo dessa definição e, quando sua obra terminá, se detém para contemplá-la e declara que nada nela falta; "que não há nenhum fenômeno na natureza que não tenha sido explicado neste tratado", esse é o título de um dos parágrafos dos *Principes de la Philosophie*.

Descartes, contudo, parece ter-se num dado momento assustado com a ousadia de sua doutrina cosmológica e ter tentado reaproximá-la da doutrina peripatética. É o que resulta da leitura de um dos artigos do livro *Principes de la Philosophie*. Citemos integralmente esse artigo, que toca de perto o tema que nos ocupa.

"Pode-se talvez objetar a isto que, ainda que eu tenha imaginado causas que poderiam produzir efeitos semelhantes àqueles que vemos, não devemos por isso concluir que aqueles que vemos sejam produzidos por elas; porque, assim como um relojoeiro engenhoso pode fazer dois relógios que marcam as horas da mesma maneira, e entre os quais não haja nenhuma diferença na aparência exterior, e que todavia não tenham nenhuma semelhança na composição de suas engrenagens, assim também é certo que

Deus tem uma infinidade de meios diferentes através dos quais ele pode ter feito que todas as coisas deste mundo pareçam tais como agora elas parecem, sem que seja possível ao espírito humano conhecer qual de todos esses meios ele quiz empregar ao fazê-las; com o que não tenho a menor dificuldade em concordar. E eu acreditaria ter feito o suficiente se as causas que expliquei fossem tais que todos os efeitos que elas podem produzir se mostrassem semelhantes àqueles que vemos no mundo, sem me informar se é por elas ou por outras que eles são produzidos. Acredito mesmo que, para as finalidades da vida, conhecer as causas assim imaginadas seja tão útil quanto se tivéssemos conhecimento das verdadeiras: pois a medicina, as mecânicas e geralmente todas as artes a que o conhecimento da física pode servir têm por fim apenas aplicar de tal maneira alguns corpos sensíveis entre si que, em decorrência das causas naturais, alguns efeitos sensíveis sejam produzidos; o que se poderá fazer igualmente bem ao considerar a decorrência de algumas causas assim imaginadas, ainda que falsas, que se elas fossem verdadeiras, visto que essa decorrência é suposta semelhante naquilo que toca os efeitos sensíveis. E, a fim de que não se possa imaginar que Aristóteles nunca tenha pretendido fazer nada mais do que isso, ele mesmo diz no começo do sétimo capítulo do primeiro livro de seus *Meteoros* que, com respeito às coisas que não são manifestas aos sentidos, ele pensa demonstrá-las suficientemente e tanto quanto se possa desejar com razão, se apenas fizer ver que elas podem ser tais como ele as explica."

Mas esse tipo de concessão às idéias da Escola está manifestamente em desacordo com o método de Descartes. Ela é somente uma dessas precauções contra a censura da Igreja que o grande filósofo tinha o cuidado de tomar, emocionado que estava, como se sabe, pela condenação de Galileu. De resto, parece que o próprio Descartes tinha medo de que se tomasse sua prudência seriamente, pois faz seguir ao artigo acima citado outros dois assim intitulados: "Que entretanto se pode ter uma certeza moral de que todas as coisas deste mundo são tais como aqui foi demonstrado que elas podem ser"; "E na verdade que se tem delas uma certeza mais que moral"

Pensamos, portanto, que se pode sem erro considerar Descartes, se não como o primeiro filósofo que deixou de diferenciar a física da cosmologia, pelo menos como aquele cujos escritos negaram da maneira mais clara e completa a distinção entre essas duas ordens de conhecimento.

A influência de Descartes sobre os maiores espíritos de seu século foi imensa. Vemos assim, depois dele, os mais rigorosos físicos tomar suas teorias como verdadeiras explicações da natureza das coisas e apoiá-las em

razões tiradas da metafísica. Já citamos noutra lugar¹² diversas passagens de Christian Huygens que mostram claramente até que ponto ele partilhava a esse respeito as idéias de Descartes.

Essa influência de Descartes foi extremamente geral; contudo, ela não foi inteiramente universal. Mostramos, no ensaio ao qual fizemos referência, que Pascal não sofreu essa influência sem protestos. Mostramos sobretudo que Newton nunca deixou a tradição da Escola; que ele sempre separou claramente as teorias científicas, destinadas a coordenar as leis físicas, das pesquisas metafísicas, destinadas a fazer conhecer as causas dos fenômenos, que sempre manteve a prioridade lógica das primeiras, entre as quais ele colocava a mecânica celeste, sobre as segundas. Por uma feliz coincidência, no mesmo fascículo em que publicamos esse artigo, o Sr. Kirwan¹³, comentando a idéia de Newton a propósito da ação à distância, chegou a compreender da mesma maneira que nós o pensamento do autor dos *Princípios Matemáticos da Filosofia Natural*.

Nos séculos XVIII e XIX, a noção exata das relações entre a física e a metafísica obscureceram-se cada vez mais. Muitas causas, dentre as quais a influência mais ou menos direta das idéias de Descartes, desempenham um papel preponderante, tendem a confundir as teorias e as explicações. Não se deveria acreditar, entretanto, que tenha desaparecido do espírito dos físicos todo e qualquer traço da distinção que deve ser feita entre esses dois degraus da ciência. Mesmo aqueles cujo orgulho da descoberta arrasta para o que está além, mesmo aqueles que depositam inteira confiança no poder das teorias físicas reconhecem, quando suas meditações os detêm nesta questão, que as teorias das quais eles tanto se orgulham talvez não sejam explicações metafísicas.

No artigo para o qual acabamos de chamar a atenção do leitor, citamos Laplace entre aqueles que consideravam a teoria da atração universal como a explicação última dos fenômenos naturais. Com efeito, se excetuarmos os escritos de Poisson, não há talvez nenhuma obra que respire uma maior confiança no poder das teorias matemáticas que a *Mecânica Celeste*. Esta confiança, entretanto, não é totalmente cega. Em alguns lugares de sua *Exposition du Système du Monde*, Laplace indica que essa atração universal, que, sob a forma de gravidade ou de atração molecular, coordena todos os fenômenos naturais, talvez não seja a explicação deles; que ela mesma depende talvez de uma causa mais elevada. É verdade que Laplace

(12)P. Duhem, "Une nouvelle théorie du monde organique", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. série, tome III, 1893, p.117.

(13)Ch. de Kirwan, "Newton et l'action à distance", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. série, tomo III, 1893, p.169.

parece deslocar essa causa para o domínio do incognoscível, mas, em todo o caso, ele não deixou de reconhecer, como Newton, que a procura dessa causa, se ela for possível, constitui um problema distinto daqueles que solucionam as teorias astronômicas. "Este princípio", diz ele¹⁴, "é uma lei primordial da natureza? Não é somente o efeito geral de uma causa desconhecida? Aqui a ignorância em que nos encontramos acerca das propriedades íntimas da matéria nos detém e nos retira toda esperança de responder de uma maneira satisfatória a essas questões." "O princípio da gravidade universal", diz ele ainda¹⁵, "é uma lei primordial da natureza ou não é mais que um efeito geral de uma causa desconhecida? Não se pode remeter para este princípio todas as afinidades? Newton, mais circunspecto que muitos de seus discípulos, não se pronunciou sobre essas questões, onde a ignorância em que nos encontramos acerca das propriedades íntimas da matéria não permite responder de uma maneira satisfatória."

Citamos, igualmente, Ampère entre aqueles que acreditavam encontrar nas atrações e repulsões de diversas naturezas a explicação verdadeira dos fenômenos físicos. É certo que Ampère considera as leis estabelecidas por Newton, por Coulomb e por ele mesmo como fornecendo às vezes teorias físicas e explicações metafísicas mas, se ele acredita possuir a solução simultânea do problema físico e do problema metafísico, nem por isso confunde esses dois problemas. aqueles que se recusam a reconhecer, no domínio da metafísica, a legitimidade das soluções que ele propõe, ele prescreve aceitá-las pelo menos no domínio da física: "A principal vantagem das fórmulas que são assim obtidas imediatamente a partir de alguns fatos gerais dados por um número suficiente de observações, para que a certeza delas não possa ser contestada, é permanecerem independentes seja das hipóteses em que seus autores se apoiaram na procura dessas fórmulas, seja das hipóteses que podem substituí-las a seguir. A expressão da atração universal deduzida das leis de Kepler não depende de maneira alguma das hipóteses que alguns autores tentaram fazer sobre uma causa mecânica que eles gostariam de lhe atribuir. A teoria do calor repousa realmente sobre fatos gerais dados imediatamente pela observação; e a equação deduzida desses fatos, sendo confirmada pelo acordo entre os resultados que se extrai dela e aqueles que a experiência fornece, deve ser igualmente aceita como exprimindo as verdadeiras leis da propagação do calor, seja por aqueles que a atribuem a uma radiação de moléculas caloríficas, seja por aqueles que recorrem para explicar o mesmo fenômeno às vibrações de um fluido disperso no espaço. É preciso somente que os primeiros mostrem como a equação de que se trata resulta de sua maneira de ver e que os segundos a

(14) Laplace, *Exposition du Système du Monde*, livro IV, capítulo XVII.

(15) Laplace, *Ibid.*, livro V, capítulo V.

deduzam das fórmulas gerais dos movimentos vibratórios, não para acrescentar algo à certeza dessa equação, mas para que suas respectivas hipóteses possam subsistir. O físico que não tomou partido a esse respeito admite esta equação como a representação exata dos fatos, sem se preocupar com o modo pelo qual ela pode resultar de uma ou de outra das explicações de que falamos.¹⁶

Poderíamos multiplicar essas citações, porém aquelas que demos são suficientes para esclarecer a idéia que queríamos trazer à luz. Newton, Laplace, Ampère mostraram que, mesmo nos tempos modernos, tão orgulhosos dos desenvolvimentos da ciência positiva, a sã e prudente tradição da Escola nunca desapareceu completamente, que os físicos, os maiores por suas invenções, sempre reconheceram que as teorias matemáticas tinham por objeto coordenar e classificar as leis naturais e que a procura das causas constituía um outro problema, logicamente posterior ao precedente. Por conseguinte esta doutrina, bem longe de ser perniciosa para a pesquisa científica, impunha-se sem problemas aos espíritos mais fecundos em descobertas.

Quer dizer que ela nunca foi desconhecida pelos grandes cientistas? Certamente não. Os exemplos de Descartes e de Huygens mostram que se pode dar às teorias físicas um prodigioso impulso enganando-se sobre sua natureza e confundindo-as com as explicações cosmológicas. Mostram até mesmo que se pode retirar desse erro, que exagera a importância do fim a atingir, um poderoso e fecundo ardor pela pesquisa científica. Mas estes exemplos não têm nada que possa nos causar espanto e que seja capaz de abalar a distinção que tentamos estabelecer entre a construção de uma teoria física e a pesquisa metafísica das causas. Frequentemente a ilusão inflama a atividade humana mais que o claro conhecimento do objeto a perseguir. Seria isto uma razão para confundir a ilusão com a verdade? Admiráveis descobertas geográficas foram feitas por aventureiros que procuravam o país do ouro. Nossas cartas geográficas deveriam então registrar o Eldorado?

Tradução de Antonio Marcos de A. Levy

(16)A.M. Ampère, *Théorie mathématique des phénomènes électrodynamiques, uniquement déduite de l'expérience*, ed. Hermann, p.3.

A ESCOLA INGLESA E AS TEORIAS FÍSICAS

A ESCOLA INGLESA E AS TEORIAS FÍSICAS¹ (A respeito de um livro recente de W.Thomson)²

Acaba-se de traduzir em francês uma coletânea de conferências científicas referentes a diversas questões de física geral, que W.Thomson proferiu em diversas circunstâncias. Percorrendo essas conferências, experimenta-se um sentimento muito estranho, o sentimento de que se tem sob os olhos a obra de um cientista de primeira ordem e de que, entretanto, essa obra não é de fato uma obra científica, pelos menos no sentido em que entendemos a ciência e em que a prezamos.

Experimentamos esse sentimento em grau mais ou menos intenso, todas as vezes que abrimos um livro escrito por um dos físicos da escola inglesa contemporânea, Maxwell ou Lodge, Tait ou Thomson; é o espanto que causa a uma inteligência francesa a forma especial como o gênio britânico concebe e realiza a ciência física.

Pareceu-nos interessante analisar as causas desse espanto, investigar as características do gênio científico inglês; classificar as marcas pelas quais se distingue "essa grande escola inglesa da Física Matemática, cujos trabalhos são uma das glórias deste século"³

Ninguém personifica melhor essa escola que W.Thomson; engenhoso como Faraday, audacioso como Maxwell, ele é mais completo que cada um desses dois gênios; experimentador tão hábil quanto o primeiro, manipula a geometria tão facilmente quanto o segundo, e, nesse ramo da ciência, ultrapassa-o em seu espírito de invenção; suas pesquisas, não se contentando em abarcar todo o campo da física teórica, expandem-se no domínio das aplicações práticas; graça a elas, os navegadores são protegidos dos erros do compasso e os cabos submarinos levam o pensamento de um continente a outro. Também as *Conferências Científicas* de W.Thomson nos fornecerão

(1) Este ensaio foi publicado com o título "L'École Anglaise et Les Théories Physiques. A propos d'un livre récent de W. Thomson", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. série, Vol.IV, 1893, p.345-378.

(2) Sir W.Thomson (Lord Kelvin), *Conférences Scientifiques et Allocutions*, traduzidos e anotados da segunda edição por P.Lugol, com excertos de memórias recentes de Sir W.Thomson e algumas notas por M.Brillouin. *Constitution de la Matière*, Paris, Gauthier-Villars, 1893.

(3) O.Lodge, *Les Théories modernes de l'Électricité. Essai d'une théorie nouvelle*, traduzido do inglês e anotado por P. Meylan, Paris, Gauthier-Villars, 1891, p.3.

documentos preciosos; através delas, apreenderemos o gênio científico inglês em sua forma mais alta e perfeita.

1.

Se examinarmos com cuidado as particularidades mais marcantes da física inglesa, aquelas particularidades que a distinguem mais nitidamente da ciência francesa ou alemã, reconheceremos imediatamente que todas essas particularidades decorrem de uma característica muito profunda, muito marcante do espírito inglês, característica que as une, explicando-as.

O inglês possui, num grau que não se encontra em nenhum outro povo da Europa, uma faculdade imaginativa que lhe permite representar um conjunto bastante complicado de coisas concretas, de vê-las cada qual em seu lugar, com seu movimento e sua vida. Quem não se surpreendeu, ao ler qualquer dos romancistas da Grã-Bretanha, Dickens por exemplo, com a abundância e minúcia dos detalhes que sobrecarregam a mais simples descrição! O leitor francês sente, logo de início, sua curiosidade tocada pelo pitoresco de cada objeto; mas não pode ver o conjunto, e o esforço estéril que faz para reconstituir o quadro, cujos inumeráveis fragmentos estão esparsos diante de seus olhos, em pouco tempo lhe causam uma fadiga que freqüentemente o vence. O inglês, ao contrário, vê sem esforço o engendramento de todas essas coisas; sua imaginação recoloca sem sacrifício cada uma em seu lugar, apreende o liame que as une e se encanta com aquilo que nos aborrece.

Esse extraordinário poder, esse desenvolvimento anormal da faculdade de imaginar coisas concretas tem sua contrapartida; nos ingleses, a faculdade de criar noções abstratas, de analisá-las, de reuni-las através de raciocínios rigorosamente construídos, parece não ter a força e a acuidade que ela adquire nos povos germânicos ou em nossas raças latinas. Os filósofos ingleses não se ocuparam a não ser com as aplicações da filosofia: a psicologia, a moral, a ciência social. Prezam pouco as pesquisas mais abstratas e as empreendem mal; procedem menos por seqüências de raciocínios que por estabelecimento de exemplos; ao invés de encadear deduções, acumulam fatos; Darwin ou Spencer não empunham diante de seus adversários a sábia esgrima da discussão; eles os esmagam, lapidando-os.

Extraordinário poder para ver o concreto, extrema fraqueza para apreender o abstrato, esta parece ser a característica desse gênio inglês que se sobressai em combinar as coisas e em criar os homens, em fazer mover umas e viver os outros, mas que parece impotente para inventar e desenvolver uma idéia; desse gênio que produziu Shakespeare, mas que não forneceu um metafísico.

Esses dois traços essenciais, essas duas marcas distintivas, nós as reencontraremos continuamente ao analisar a forma como a escola inglesa concebeu a física.

2.

Encontra-se a todo instante, nos tratados de física publicados na Inglaterra, um elemento que surpreende em alto grau o estudioso francês; esse elemento, que acompanha quase que invariavelmente a exposição de uma teoria, é o que os cientistas britânicos chamam o *modelo*. Nada permite apreender melhor o modo, muito diferente do nosso, pelo qual procede o espírito inglês na construção da ciência, que esse uso do modelo.

Dois corpos eletrizados são colocados próximos; o físico francês ou alemão, quer se chame Poisson ou Gauss, concebe que, no espaço exterior a esses corpos, coloca-se essa abstração que tem o nome de ponto material, acompanhada dessa outra abstração que se chama carga elétrica; apresenta então fórmulas que permitem determinar a grandeza e a direção da força à qual esse ponto material está submetido quando é colocado num ponto geométrico dado do espaço; a direção dessa força toca, no ponto considerado do espaço, uma certa linha, a *linha de força*; demonstra que as linhas de força atingem normalmente as superfícies dos condutores eletrizados; calcula a força que se exerce sobre cada elemento de tal superfície.

Toda essa teoria da eletrostática constitui um conjunto de idéias e proposições abstratas, formuladas na clara linguagem da análise e da geometria, unidas entre si pelas regras de uma severa lógica; esse conjunto satisfaz plenamente a razão de um físico francês ou alemão.

Não ocorre o mesmo com um inglês; essas noções abstratas de função potencial, de superfícies de nível, de trajetórias ortogonais a essas superfícies, não satisfazem sua necessidade de imaginar as coisas materiais, visíveis e tangíveis. "Na medida em que nos mantemos nesse modo de expressão, não podemos nos formar uma representação mental dos fenômenos que ocorrem realmente"⁴. É para satisfazer essa necessidade que ele criará um modelo.

Onde o físico francês ou alemão concebia uma família de linhas de forças, ele imaginará um maço de fios elásticos, colados por suas duas extremidades aos diversos pontos das superfícies condutoras, distendidos, procurando ao mesmo tempo se alongar e se engrossar, diminuir de comprimento e aumentar de seção; quando os dois corpos eletrizados se aproximam um do outro, ele os vê atraírem-se entre si através desses fios;

(4) O.Lodge, *Op.Cit.*, p.16.

esse é o célebre modelo das ações eletrostáticas imaginado por Faraday, admirado, como uma obra de gênio, por Maxwell e pela escola inglesa em sua totalidade.

O emprego de semelhantes modelos mecânicos, que lembram, por certas analogias mais ou menos grosseiras, as particularidades essenciais da teoria que se procura expor, é constante nos tratados ingleses de física; alguns, como o tratado de eletricidade de Maxwell, fazem deles apenas um uso moderado; outros, pelo contrário, fazem apelo a todo instante a essas representações mecânicas. É o caso de um livro⁵ destinado a expor as teorias modernas da eletricidade, a esboçar uma teoria nova; trata-se apenas de cordas que se movem por polias, que se enrolam em tambores, que atravessam pérolas, que sustentam pesos; tubos que bombeiam água, outros que se inflam e se contraem; rodas dentadas que se engrenam entre si, que produzem cremalheiras.

Ao invés do uso desses modelos mecânicos facilitar a compreensão de uma teoria a um leitor francês, é necessário para este, num grande número de casos, um esforço sério para apreender o funcionamento do aparelho, por vezes muito complicado, que o autor lhe descreve; um esforço freqüentemente muito maior que aquele que é necessário para compreender na sua pureza a teoria abstrata que o modelo pretende encarnar.

O inglês, pelo contrário, acha o uso do modelo tão necessário ao estudo da física que, para ele, a visão do modelo acaba por confundir-se com a própria compreensão da teoria. É curioso ver essa confusão formalmente aceita por aquele que é, hoje em dia, a mais alta expressão do gênio inglês, W. Thomson: "Parece-me", diz ele⁶, "que o verdadeiro sentido da questão: compreendemos ou não um assunto particular na física? é: podemos fazer um modelo mecânico correspondente? Tenho uma extrema admiração pelo modelo mecânico da indução eletromagnética, devido a Maxwell; ele criou um modelo capaz de executar todas as maravilhosas operações que a eletricidade faz nas correntes induzidas, etc. E não pode haver dúvida de que um modelo mecânico desse gênero é extremamente instrutivo e marca um passo em direção a uma teoria mecânica do eletromagnetismo... Jamais estou satisfeito⁷, enquanto não consigo fazer um modelo mecânico do objeto; se posso fazer um modelo mecânico, compreendo; enquanto não posso fazer um modelo mecânico, não compreendo; e é por isso que não compreendo a teoria eletromagnética da luz. Acredito firmemente em uma teoria eletromagnética da luz. Quando compreendermos a eletricidade, o magnetismo e a luz, eles serão vistos como as partes de um todo; mas exijo

(5) O.Lodge, *Op.Cit.*, p.312.

(6) W.Thomson, *Lectures on Molecular Dynamics*, p.132.

(7) *Ibid.*, p.270.

(4): 63-84, 1989.

que compreendamos a luz o melhor possível sem introduzir coisas que compreendo ainda menos. É por isso que me dedico à dinâmica pura."

3.

Compreender um fenômeno físico é, para os físicos da escola inglesa, compor um modelo que imita esse fenômeno; por isso, compreender a natureza das coisas materiais será imaginar um mecanismo, cujo funcionamento representará, simulará as propriedades dos corpos. A escola inglesa é pois inteiramente partidária das explicações puramente mecânicas dos fenômenos físicos.

Esta certamente não é uma característica suficiente para distinguir as doutrinas inglesas das tradições científicas que florescem em outros países; as teorias mecânicas são originárias de um gênio francês, o gênio de Descartes; elas reinaram por muito tempo sem contestação na França assim como na Alemanha; o que distingue a escola inglesa, não é ter tentado a redução da matéria a um mecanismo, é a forma particular de suas tentativas de atingir esse fim.

Sem dúvida, em todos os lugares em que as teorias mecânicas germinaram, em todos os lugares em que se desenvolveram, deve-se seu nascimento e seus progressos a uma fraqueza da faculdade de abstrair, a uma vitória da imaginação sobre a razão. Se Descartes e os filósofos que o seguiram se recusaram a admitir a existência de toda qualidade da matéria que não se reduzisse à geometria ou à cinemática, é porque uma tal qualidade era *oculta*; porque, concebível unicamente pela razão, ela permanecia inacessível à imaginação; a redução da matéria à extensão pelos grandes pensadores do século XVII mostra claramente que nessa época o sentido metafísico, esgotado pelos excessos da escolástica em decadência, entrava naquele estado de decrepitude em que enlanguesce ainda hoje.

Mas, na França assim como na Alemanha, o sentido da abstração pode enfraquecer, mas jamais adormece completamente. É verdade que a hipótese de que tudo, na natureza material, se reporta à geometria e à cinemática, é um triunfo da imaginação sobre a razão; mas, após ter cedido nesse ponto essencial, a razão retoma pelo menos seus direitos quando se trata de deduzir as conseqüências, de construir o mecanismo que deve representar a matéria. Descartes, por exemplo, e Huygens depois dele, uma vez estabelecido o princípio de que a extensão é a essência da matéria, têm o cuidado de deduzir dele que a matéria tem em toda a parte a mesma natureza; que não pode haver várias substâncias materiais diferentes; que unicamente as formas e os movimentos podem distinguir entre si as diferentes partes da matéria; e eles procuram construir logicamente um sistema que explica os fenômenos naturais sem fazer intervir mais que esses

dois elementos: a figura das partes movidas e o movimento do qual elas são animadas.

Além disso, como as faculdades de um francês ou de um alemão não lhe permitem imaginar um mecanismo quando ele é um pouco complicado, o francês e o alemão exigirão de toda tentativa feita para explicar mecanicamente o universo, que ela seja *simples*; toda explicação que fizer intervir um número considerável de substâncias elementares, que as combinar num organismo complicado, será, à primeira vista, rejeitada por eles como inverossímil; exigirão que se reduza a matéria, em última análise, a um pequeno número de espécies de átomos elementares, duas ou três quando muito; que esse átomos tenham formas geométricas simples; que eles sejam providos somente de algumas propriedades mecânicas essenciais; que essas propriedades sejam expressas em proposições muito breves e muito fáceis de compreender, proposições que procurarão além disso justificar através de considerações metafísicas. Examinem-se todas as explicações mecânicas imaginadas pelos franceses e pelos alemães, das doutrinas de Descartes às teorias do Padre Leray, que analisamos recentemente⁸, e reconhecer-se-á nelas sempre, de uma maneira muito nítida, a dupla tendência em direção à abstração e à simplicidade.

Não ocorre o mesmo com as explicações mecânicas criadas pelos gênios britânicos. Sua poderosa faculdade imaginativa representa sem esforço os mecanismos mais complicados; tampouco temem atribuir à matéria uma estrutura muito complexa. W.Thomson, para explicar a dispersão das cores, considera as moléculas materiais como verdadeiros edifícios, onde intervêm elementos rígidos e elementos elásticos; seu éter girostático não é nem um pouco simples e, entretanto, ultrapassa muito em simplicidade o éter que constroem Maxwell e Oliver Lodge, com o objetivo de dar conta dos fenômenos eletromagnéticos.

Não apenas os edifícios pelos quais os físicos ingleses procuram representar a constituição da matéria são complicados; mas mesmo os materiais que os formam não se reduzem a formas geométricas providas de algumas propriedades abstratas elementares; não são os materiais com os quais Descartes procura construir a "máquina" do mundo, simples figuras providas da propriedade de trocar, pelo choque, suas quantidades de movimento sem nada perder; não, são corpos concretos, semelhantes àqueles que vemos ou tocamos, sólidos, rígidos ou elásticos, fluidos compressíveis ou não; algumas vezes, para torná-los mais tangíveis, para melhor fazer compreender que se trata não de idéias elaboradas pela abstração, mas antes de corpos parecidos com aqueles que manipulamos todos os dias,

(8) P.Duhem, "Une Nouvelle Théorie du Monde Inorganique", *Revue des Questions Scientifiques*, janeiro de 1893.

(4): 63-84, 1989.

W.Thomson finge designá-los pelos nomes mais vulgares: ele os chama de barbantes, toques de campainha, etc.; as propriedades elementares de que são providos esses corpos, tais como rigidez, elasticidade, compressibilidade, fluidez, flexibilidade, não recebem definições, nem justificação metafísica; W.Thomson, por exemplo, jamais se coloca questões filosóficas tais como as seguintes: um dos elementos últimos da matéria pode ou não ocupar um volume variável? É essencialmente incompressível, ou pode ser comprimido? Ainda menos se pergunta o que se deve entender pelo volume ocupado por um átomo. Os elementos que constituem a matéria são semelhantes àqueles que vemos todos os dias ao nosso redor; podem ser fluidos como a água, compressíveis como o ar, elásticos como o aço, flexíveis como um fio de seda; sua natureza não tem necessidade de ser filosoficamente definida; é suficiente que suas propriedades caiam sob os sentidos; os mecanismos que servem para compor não são destinados a serem apreendidos pela razão, eles são destinados a serem vistos pela imaginação.

4.

O que dissemos do emprego dos "modelos" para "ilustrar" as teorias físicas nos auxiliará a compreender o papel que, no desenvolvimento dessas mesmas teorias, os ingleses reservam para as matemáticas.

Certamente, mais de um leitor se surpreenderá ao nos ouvir falar da parte que cabe à faculdade imaginativa nas pesquisas matemáticas; as matemáticas passam por uma ciência que só a faculdade de criar idéias abstratas, juntamente com a faculdade de encadeá-las em raciocínios lógicos, tem o poder de engendrar e desenvolver; essa opinião corrente parece-me entretanto bastante inexata, a menos que seja explicada.

Sem dúvida, todo o ramo das matemáticas puras ou aplicadas trata de conceitos que são conceitos abstratos; é a abstração que fornece as noções de número, linha, superfície, ângulo, força, temperatura, quantidade de calor ou de eletricidade; é a abstração e a análise filosófica que distinguem e precisam as propriedades fundamentais dessas diversas noções, que enunciam os axiomas e os postulados; seria possível encadear essas noções abstratas entre si através de raciocínios que fariam intervir quase que exclusivamente as faculdades lógicas do espírito; a geometria de Euclides nos oferece um exemplo de semelhante encadeamento. Mas os procedimentos matemáticos têm precisamente o fim de substituir esse método extremamente laborioso por um outro que é bastante mais fácil; ao invés de raciocinar diretamente sobre as noções abstratas que o ocupam, de visá-las em si mesmas, o matemático se aproveita de suas propriedades mais simples para representá-las por números, para *medi-las*; assim, ao invés de encadear numa seqüência de silogismos as propriedades dessas mesmas noções, ele submete suas medidas a manipulações operadas segundo regras fixas, as

regras da análise matemática. Ora, na análise matemática, uma parte muito importante, aquela que se pode, na mais ampla acepção da palavra, chamar o *cálculo*, supõe daquele que a desenvolve ou que a emprega, muito menos o poder de abstrair e a habilidade de conduzir em ordem seus pensamentos, que a aptidão de representar as combinações diversas e complicadas que se pode formar com certos símbolos, a saber, as transformações que permitem passar de uma dessas combinações a outra; o autor de certas pesquisas analíticas não tem nada de metafísico; ele se assemelha ao engenheiro que combina engrenagens múltiplas, ou melhor, ao enxadrista que, sem observar o tabuleiro faz evoluir o peão e o cavalo.

De acordo com o que acabamos de dizer do gênio inglês, deve-se pensar que os geômetras da Grã-Bretanha sobressair-se-ão muito mais na manipulação dos mais complicados algoritmos da álgebra, que na busca dos próprios princípios nos quais assente a matemática; essa previsão não se acha confirmada de maneira incontestável se se comparam as pesquisas de Sylvester àquelas de Riemann ou de Weierstrass?

Consistindo as matemáticas, para o inglês, sobretudo num mecanismo algébrico, que papel lhe atribuirá ele no desenvolvimento de uma teoria física? O papel de *modelo*. Assim como, para esclarecer uma teoria física, ele construía com os materiais sólidos ou líquidos, elásticos ou flexíveis, um aparelho cujo funcionamento imitava os principais fenômenos que a teoria tinha o objetivo de unir, assim também, com os símbolos algébricos, ele vai construir um sistema que representa, por suas diversas transformações, a coordenação das leis que ele procura classificar. Quando constrói um modelo, ele o forma com os materiais que lhe parecem ser os mais cômodos, sem jamais se perguntar se o arranjo que imagina possui a mínima analogia de natureza com os corpos dos quais quer reproduzir as propriedades, e isso até mesmo quando se trata de representar a constituição da matéria; do mesmo modo, quando compõe uma teoria matemática, pouco lhe importa saber a que elementos reais correspondem as grandezas algébricas que ele faz entrar em suas equações: se essas equações imitam bem o funcionamento dos fenômenos, pouco lhe importa a via pela qual elas foram obtidas. Aqueles que, na França ou na Alemanha, fundaram a física matemática, Laplace, Poisson, Ampère, Gauss, tomavam muito cuidado, no início de uma teoria física, marcando os fatos da experiência sobre os quais se apoiavam, precisando as hipóteses que admitiam, definindo as grandezas de que falavam; daí esses preâmbulos, em geral tão cuidadosos, que conduziam o leitor passo a passo até à equação em que a teoria inteira se encontrava condensada. Esses preâmbulos serão procurados quase sempre em vão nos autores ingleses; para eles, só a equação vale; o equacionamento não lhes interessa.

Querem um exemplo incontestável?

Maxwell acrescenta à eletrodinâmica dos corpos condutores, criada por Ampère, uma eletrodinâmica nova, a eletrodinâmica dos corpos

(4): 63-84, 1989.

dielétricos; esse ramo da física decorre da consideração de um elemento essencialmente novo, que se chamou, aliás muito inapropriadamente, a *corrente de deslocamento*. Introduzida para completar a definição do estado variável de um dielétrico, estado que o conhecimento da polarização não determina inteiramente, do mesmo modo que a *corrente de condução* foi acrescentada à carga elétrica para complementar a definição do estado variável de um condutor, a corrente de deslocamento apresenta com a corrente de condução estreitas analogias ao mesmo tempo que diferenças profundas. Graças à intervenção desse novo elemento, a eletrodinâmica é transformada; fenômenos, que a experiência não tinha suspeitado, são enumerados; vê-se germinar uma nova teoria da propagação das ações elétricas nos meios não condutores, e essa teoria conduziu a uma interpretação imprevista dos fenômenos ópticos; sem dúvida esse elemento tão novo, tão estranho, cujo estudo se mostra tão fecundo em conseqüências importantes, surpreendentes, paradoxais, Maxwell só o fará aparecer em suas equações após tê-lo definido e analisado com as mais minuciosas precauções? Abra-se a memória⁹ em que Maxwell expõe sua nova teoria do campo eletromagnético, e não se encontrará nela, para justificar a introdução dos fluxos de deslocamento nas equações da eletrodinâmica, mais que estas duas linhas: "As variações de deslocamento elétrico devem ser acrescentadas às correntes para obter o movimento total da eletricidade."

Essa ausência de toda definição, mesmo quando se trata dos elementos mais novos e mais importantes, nos faz compreender como homens para os quais a análise não tem mais mistérios permanecem confusos diante da obra de Maxwell, incapazes, em muitos casos, de dizer qual é seu verdadeiro pensamento. Maxwell estuda em si mesmas as transformações das equações da eletrodinâmica, sem procurar com muita freqüência ver sob essas transformações a coordenação das leis físicas; ele as estuda como se olha os movimentos de um mecanismo; eis porque é um trabalho ilusório procurar, sob essas equações, uma idéia filosófica que nelas não se encontra; eis em que sentido se deve, ao que me parece, interpretar esta afirmação de Hermann Hertz¹⁰: "questão: o que é a teoria de Maxwell?, eu não poderia dar uma resposta ao mesmo tempo mais curta e mais nítida que a seguinte: a teoria de Maxwell é o sistema das equações de Maxwell."

(9) J.Clerk Maxwell, "A Dynamical Theory of the Eletromagnetic Field", *Philosophical Transactions of London*, vol.CLV, p.480.

(10) Hermann Hertz, "Untersuchungen uber die Ausbreitung der elektrischen Kraft", *Einleitende Ubersicht*, p.23, Leipzig, 1892.

5.

Os geômetras franceses que compuseram as primeiras teorias da física matemática tiveram uma tendência constante a considerá-las como verdadeiras explicações, no sentido metafísico da palavra; a admitir que elas apreendem a própria realidade das coisas e as verdadeiras causas dos fenômenos. Essa tendência, nascida com Descartes, manifesta-se a todo instante nos escritos de Laplace e Poisson, de Fresnel, Cauchy e Ampère; é verdade que por vezes esses autores têm como que medo de sua audácia, e, por um momento, suspeitam que suas teorias são talvez apenas representações e não explicações; mas esse pensamento prudente, após ter resplandecido um instante e feito entrever a esses grandes espíritos o verdadeiro alcance do método em uso nas ciências positivas, se dissimula de novo e desaparece por trás das negras nuvens que acumulam uma confiança arrogante e absoluta na onipotência da ciência moderna.

Essa tendência em ver na teoria matemática uma explicação metafísica do universo contrasta singularmente com a tendência dos físicos ingleses que jamais veem nela mais que um modelo; mesmo quando escreve um ensaio sobre a constituição do éter ou da matéria, W.Thomson nunca esquece que não apreende a essência das coisas, que se limita a construir um aparelho capaz de simular certos fenômenos; esse pensamento está sem cessar presente a seu espírito; ele retorna a esse pensamento a todo instante.

Essa oposição entre a tendência francesa e a tendência inglesa está marcada por caracteres essenciais e claros.

O físico francês do final do século XVIII e do começo do século XIX propõe, ao início de toda teoria, um certo número de hipóteses que, para ele, definem as propriedades primeiras, essenciais, elementares da matéria; a seguir, dessas hipóteses fundamentais, procura deduzir, por uma seqüência logicamente encadeada de raciocínios precisos, a explicação de todos os fenômenos da física: nenhum deve ficar fora desse encadeamento, pois as hipóteses fundamentais são tidas como definindo todas as propriedades primeiras da matéria, de onde decorrem, como os efeitos decorrem de suas causas, todos os fenômenos que observamos. Deste método originaram-se esses majestosos sistemas da natureza que se propõem transportar à física a forma da geometria de Euclides; que, tomando por base um certo número de postulados muito simples, pretendem deduzir deles, até o mínimo detalhe, a explicação do mundo material. Da época em que Descartes desenvolveu o amplo encadeamento de seus *Princípios de Filosofia*, até o tempo em que Poisson, seguindo Laplace, procurava reduzir o mecanismo do sistema do mundo à atração, tanto newtoniana como molecular, e constituir assim o conjunto da *mecânica física*, tal foi o perpétuo ideal do gênio francês. Ao perseguir esse ideal, foram levantados monumentos cujas proporções

(4): 63-84, 1989.

grandiosas e linhas simples ainda arrebatam de admiração, mesmo hoje que tremem sobre fundamentos minados por todos os lados.

Essa unidade da teoria, esse encadeamento lógico entre todas as partes que a constituem, são conseqüências tão necessárias, tão forçosas, da maneira pela qual os físicos da escola francesa concebem uma teoria que, para eles, interromper essa unidade ou romper essa ordem é violar os princípios da lógica, é cometer um *absurdo*.

Não ocorre de modo algum o mesmo com os físicos ingleses.

A teoria matemática é, para eles, não uma explicação das leis físicas, mas um modelo dessas leis; ela é construída não para a satisfação da razão, mas para o prazer da imaginação; de modo que a teoria matemática escapa ao domínio da lógica; é permitido ao físico inglês construir um modelo para representar um grupo de leis e um outro modelo, sem ligação com o precedente, para representar um outro grupo de leis, e isso mesmo quando certas leis forem comuns aos dois grupos. Para um geômetra da escola de Laplace e Cauchy, seria absurdo apresentar duas explicações distintas de uma mesma lei e sustentar que essas duas explicações são verdadeiras ao mesmo tempo; para um físico inglês, não há qualquer contradição quando uma mesma lei é figurada de duas maneiras diferentes por dois modelos diferentes. Mais ainda: a complicação assim introduzida na ciência não o impressiona, pois sua faculdade imaginativa, mais poderosa que a nossa, não experimenta no mesmo grau que a nossa o desejo da simplicidade, a necessidade da unidade; ela se reencontra sem esforços em labirintos onde a nossa se perderia.

Daí, nas teorias inglesas, esses disparates, essas incoerências, essas contradições que somos levados a julgar severamente, porque procuramos um sistema racional onde o autor não pretende nos apresentar mais que uma obra da imaginação.

Ao ler essas conferências de W.Thomson, intituladas *A Constituição da Matéria*, evitemos procurar nelas um conjunto de pesquisas logicamente coordenadas e indicando como as diversas leis físicas podem ser deduzidas de hipóteses determinadas sobre a constituição da matéria; grande seria a surpresa, maior ainda a decepção. Aqui, a matéria nos é apresentada como um conjunto de pontos materiais isolados e imóveis; entre esses pontos se exercem atrações, e W.Thomson, após ter emitido a idéia de que essas atrações podem reduzir-se à ação newtoniana, desenvolve a hipótese que as distingue; noutro lugar, os gases são um conjunto de pequenos projéteis animados com velocidades prodigiosas, que se chocam em seus cursos loucos; noutro ainda, a molécula material é um conjunto de invólucros esféricos, concêntricos, unidos por elásticos; noutra parte, é um sistema giostático constituído por turbilhões de éter. Entre essas diversas teorias, nenhuma tentativa de acordo; cada uma delas desenvolve-se isoladamente, sem se preocupar com aquela que a precedeu, cobrindo uma parte do campo que aquela já cobriu. São quadros, e o artista, ao compor cada um deles,

escolheu com uma inteira liberdade os objetos que representará e a ordem na qual os agrupará; pouco importa se um desses personagens já posou, numa atitude diferente, para um outro quadro; o lógico será mal recebido se se surpreender; uma seqüência de quadros não é um encadeamento de silogismos.

Essa incoerência entre as diversas partes de uma teoria não é uma particularidade de W.Thomson; ela é ainda mais marcante nos escritos de Maxwell:

"O cientista inglês", diz H.Poincaré num prefácio que se tornou famoso¹¹ "não procura construir um edifício único, definitivo e bem ordenado; parece antes que ele eleva um grande número de construções provisórias e independentes, entre as quais as comunicações são difíceis e às vezes impossíveis."

"Tomemos, como exemplo, o capítulo onde se explica as atrações eletrostáticas por pressões e tensões que reinariam no meio dielétrico. Esse capítulo poderia ser suprimido sem que o resto do volume se tornasse menos claro e menos completo e, por outro lado, ele contém uma teoria que é auto-suficiente, e poder-se-ia compreendê-lo sem ter lido uma só das linhas que precedem ou que seguem. Mas ele não é apenas independente do resto da obra; é difícil de conciliar com as idéias fundamentais do livro, como o mostrará mais adiante uma discussão aprofundada; Maxwell nem mesmo tenta essa conciliação; ele se limita a dizer¹²: "Não fui capaz de dar o passo seguinte, a saber, dar conta através de considerações mecânicas dessas tensões do dielétrico"."

"Esse exemplo será suficiente para fazer compreender meu pensamento; poderia citar muitos outros; assim, quem duvidaria, ao ler as páginas consagradas à polarização rotatória magnética, de que há uma identidade entre os fenômenos óticos e magnéticos?"

Sem dúvida, o que há de exato e de verdadeiramente fecundo na obra de Maxwell terá seu lugar, um dia, num sistema coerente e logicamente construído, um desses sistemas em que os pensamentos são conduzidos ordenadamente, à imagem dos *Elementos* de Euclides ou dessas grandiosas teorias desenvolvidas pelos criadores da física matemática; mas não é certamente isso o que procurava Maxwell; quando Boltzmann¹³, por exemplo,

(11)H.Poincaré, *Electricité et Optique*, I, *Les Théories de Maxwell et la Théorie Électromagnétique de la Lumière*, Introdução, p.viii.

(12)"Não fui capaz de dar o passo seguinte, a saber, dar conta através de considerações mecânicas dessas tensões do dielétrico." Maxwell, *Traité d'Électricité et de Magnétisme*, tradução francesa, Tomo I, p.174.

(13)Boltzmann, *Vorlesungen über Maxwell's Theorie der Elektrizität und des Lichtes*, Vol. I, Leipzig, 1891.

(4): 63-84, 1989.

tenta construir um sistema semelhante, devemos ver em sua tentativa não a tarefa de um comentador escrupuloso e servilmente fiel ao grande físico, mas o trabalho do pensador alemão que procura transformar num todo logicamente coordenado de teorias racionais o que era, no espírito do autor inglês, somente uma sequência de modelos, construídos para ajudar a imaginação.

Quando se estuda a obra de um grande físico inglês, W. Thomson ou Maxwell; quando se vê aparecer essas concepções disparatadas que se contradizem de um ano ao outro de sua vida, de um capítulo ao outro de seu livro, põe-nos a meditar sobre essas inumeráveis leis e costumes que cada século acrescenta à legislação inglesa; leis e costumes que contradizem os costumes e as leis dos séculos precedentes e que, entretanto, longe de destruí-los, se sobrepõem a eles, misturam-se e confundem-se com eles; surpreendemo-nos ao encontrar, tanto na ciência como na legislação, esse desleixo lógico diante do qual o espírito francês, ávido de simplicidade e unidade, permanece entorpecido; em toda ordem de coisas, o francês exige um código.

6.

Cabe fazer aqui uma digressão, cujo objeto nos parece importante.

Os geômetras, em sua maioria franceses, que fundaram a física matemática, viam nas teorias que constituem essa ciência a explicação racional, a razão de ser metafísica das leis descobertas pelos experimentadores; de modo que eles viam essas teorias logicamente encadeadas.

Essa maneira de compreender o papel das teorias da física matemática tende atualmente a ser abandonada; cada vez mais os físicos, pelo menos aqueles que refletem sobre o alcance da ciência que estão encarregados de desenvolver e ensinar, tendem a ver nas teorias físicas não mais explicações metafísicas, mas apenas sistemas representativos que classificam e coordenam as leis físicas; já desenvolvemos em várias oportunidades¹⁴, nesta publicação, as razões pelas quais devemos adotar essa idéia.

Ora, se admitimos que as teorias da física matemática não são sistemas metafísicos, se não lhes atribuimos mais que um valor representativo, se as

(14) P. Duhem, "Quelques réflexions au sujet des théories physiques", *Revue des Questions Scientifiques*, janeiro de 1892; "Notation atomique et hypotheses atomistiques", *Ibid.*, abril de 1892; "Une nouvelle théorie du monde inorganique", *Ibid.*, janeiro de 1893; "Physique e Métaphysique", *Ibid.*, julho de 1893.

consideramos apenas como métodos de classificação, por que exigiríamos ainda que todas essas teorias sejam deduzidas com um rigor absoluto de um pequeno número de princípios claramente enunciados e postulados de uma vez por todas? Por que não admitiríamos que grupos distintos de leis sejam simbolizados por teorias diferentes, algumas assentando-se sobre certas hipóteses, outras sobre outras hipóteses incompatíveis com as primeiras? Por que não admitiríamos ao mesmo tempo várias teorias diferentes, irreconciliáveis, para dar conta de um mesmo conjunto de fenômenos? Por que, numa palavra, daríamos preferência ao rigor lógico dos teóricos franceses sobre a incoerência lógica dos físicos ingleses?

Esse pensamento certamente se fez presente a muitos espíritos.

Há, sem dúvida, aqueles que são conduzidos por ele ao ceticismo; estes não estão longe de pôr ao mesmo nível o método seguido por Laplace e Ampère, e o método seguido por W. Thomson e Maxwell; talvez eles estejam até inclinados a dar preferência a este último método; não é esta tendência que se insinua nas seguintes linhas, escritas por Poincaré?

"Não devemos portanto iludir-nos em evitar toda contradição; mas é necessário tomar seu partido. Duas teorias contraditórias podem, com efeito, desde que não as misturemos, e que não procuremos o fundo das coisas, ser ambas instrumentos úteis de pesquisa, e não seria talvez a leitura de Maxwell menos sugestiva se ela não nos tivesse aberto tantas vias novas divergentes?"¹⁵

Outros, ao contrário, que desejam atribuir às teorias da física um valor absolutamente ontológico, Vicaire¹⁶, por exemplo, se contentam em mostrar que ao considerar as teorias físicas como puras representações, somos conduzidos a considerar como legítima a incoerência lógica nessas teorias; e consideram que essa consequência, que causa tão violenta aversão ao gênio francês, se transformará em objeção ao pensamento do qual se originou.

As idéias que nascem e evoluem entre os físicos colocam portanto um importante problema; esse problema pode ser formulado assim: *na física teórica, é legítima a incoerência lógica?* Ou ainda, numa fórmula mais explícita, da seguinte maneira: *é legítimo simbolizar, seja vários grupos distintos de leis experimentais, seja até um grupo único de leis, por meio de várias teorias das quais cada uma assenta sobre hipóteses irreconciliáveis com aquelas tratadas pelas outras?*

(15)H.Poincaré, *Électricité et Optique*, I, *Les théories de Maxwell et la théorie électromagnétique de la lumière*, Introdução, p.IX.

(16)E.Vicaire, "De la valeur objective des hypotheses physiques", *Revue des Questions Scientifiques*, abril de 1893.

(4): 63-84, 1989.

A esta questão não hesitamos em responder como já o fizemos¹⁷: *SE NOS RESTRINGIMOS A INVOCAR APENAS RAZÕES DA LÓGICA PURA, não se pode impedir um físico de representar por várias teorias irreconciliáveis seja conjuntos diversos de leis, seja até mesmo um grupo único de leis; não se pode condenar a incoerência no desenvolvimento da teoria física.*

Com efeito, se se admitir, como procuramos estabelecer, que uma teoria física não passa de uma classificação de um conjunto de leis experimentais, como se obterá, no código da lógica, o direito de condenar um físico que empregasse, para coordenar conjuntos diferentes de leis, procedimentos de classificação diferentes, ou que propusesse, para um mesmo conjunto de leis, diversas classificações originadas de métodos diferentes? A lógica proíbe aos naturalistas classificar um grupo de animais de acordo com a estrutura do sistema nervoso e um outro grupo de acordo com a estrutura do sistema circulatório? Será absurdo que um malacologista exponha ao mesmo tempo a classificação de Bouvier, que classifica os moluscos segundo a disposição de seus filetes nervosos, e a classificação de Remy Perrier, que baseia suas comparações no estudo do órgão de Bojanus? Assim, um físico terá logicamente o direito de ora considerar a matéria como contínua, ora de encará-la como formada por átomos separados; ora de explicar os efeitos capilares através de forças atrativas que se exercem entre partículas imóveis, ora de dotar essas mesmas partículas de movimentos rápidos para dar conta dos efeitos do calor; todas essas incongruências não violarão os princípios da lógica.

A lógica não impõe evidentemente ao físico mais que uma única obrigação: a de não confundir seus diversos procedimentos de classificação; a obrigação, quando ele estabelece entre duas leis uma certa aproximação, de indicar de maneira precisa qual é o método empregado por quem justifica essa aproximação; a obrigação, numa palavra, na expressão de Poincaré, de não misturar duas teorias contraditórias.

Não podemos portanto, se invocamos exclusivamente razões de ordem lógica, condenar a incoerência lógica na física teórica. Mas as razões de ordem puramente lógica não são as únicas que dirigem razoavelmente nossos juízos : o princípio de contradição não é o único a que nos é permitido recorrer. Para que rejeitemos legitimamente um método, não é necessário que ele seja absurdo; é suficiente que nosso objetivo, ao rejeitá-lo, seja o de preferir a ele um método mais perfeito; é em virtude desse princípio que podemos resolver a dificuldade que examinamos e assentar legitimamente a seguinte regra: *devemos, na física teórica, fugir da incoerência lógica, PORQUE ELA PREJUDICA A PERFEIÇÃO DA CIÊNCIA.*

(17)P.Duhem, "Quelques réflexions au sujet des théories physiques", *Revue des Questions Scientifiques*, janeiro de 1892.

É melhor, e mais perfeito, coordenar um conjunto de leis experimentais por meio de uma teoria única, da qual todas as partes, logicamente encadeadas, decorrem numa ordem irrepreensível de um certo número de hipóteses fundamentais estabelecidas de uma vez por todas, do que invocar, para classificar essas mesmas leis, um grande número de teorias irreconciliáveis fundadas umas sobre certas hipóteses, outras sobre outras hipóteses que contradizem as precedentes. Trata-se de uma verdade que todos admitem sem que seja necessário comentá-la; essas mesmas pessoas, como os físicos ingleses ou seus imitadores, que aceitam de bom grado teorias contraditórias para dar conta de leis diferentes, preferem entretanto uma teoria única quando percebem facilmente o meio de construí-la; essa verdade nos fornece um exemplo desses princípios claros e evidentes por si mesmos nos quais assenta, como expusemos em outro lugar¹⁸, o emprego do método experimental.

Mas ainda que essa verdade seja tão clara e tão evidente que todo físico faça uso dela sem hesitar no decorrer de suas pesquisas, não se segue disso que o metafísico não tenha que prestar contas, não certamente para aumentar-lhe a clareza, que é completa, ou a certeza, que é intuitiva, mas para nos fazer apreender as relações desse princípio com os outros princípios que guiam nossa razão e para desarmar o ceticismo se ele pretendesse minar esse fundamento da física teórica.

Por que então uma teoria física coerente é, aos olhos daquele que não atribui às teorias físicas o valor de explicações metafísicas, mais perfeita que um conjunto incoerente de teorias incompatíveis?

Devemos evidentemente julgar o grau de perfeição de uma teoria física em termos da maior ou menor conformidade que oferece essa teoria com a teoria ideal e perfeita; ora, essa teoria ideal e perfeita, nós a definimos em outro lugar: seria a explicação metafísica total e adequada da natureza das coisas materiais; essa teoria, com efeito, classificaria as leis físicas numa ordem que seria a própria expressão das relações metafísicas que possuem entre si as essências das quais emanam essas leis; ela nos daria, no sentido próprio da palavra, a *classificação natural* das leis.

Uma tal teoria, como tudo o que é perfeito, ultrapassa infinitamente o alcance do espírito humano; as teorias que nossos métodos nos permitem construir nada mais são que um pálido reflexo dessa teoria; o método metafísico só nos fornece da essência das coisas materiais informações muito gerais, muito pouco detalhadas, e pouco numerosas, para que possam servir na classificação das leis físicas; o método experimental, o único ao qual

(18)P.Duhem, "Physique et Metaphysique", 3. A Física assenta em Princípios Evidentes em si e Independentes de qualquer Consideração Metafísica, *Revue des Questions Scientifiques*, julho de 1893.

(4): 63-84, 1989.

poderíamos recorrer com esse objetivo, como não apreende a essência das coisas, mas somente os fenômenos através dos quais as coisas se manifestam a nós, não nos permite aproximar as leis entre si, a não ser por analogias exteriores, superficiais, que traduzem, traindo talvez com muita frequência, as verdadeiras afinidades das essências das quais emanam essas leis.

Contudo, por mais imperfeitas que sejam nossas teorias físicas, elas podem e devem tender para a perfeição; sem dúvida, elas nunca serão mais que uma classificação, que constata analogias entre as leis, mas que não apreende as relações entre as essências; apesar disso, podemos e devemos procurar estabelecê-las de maneira que haja alguma probabilidade de que as analogias trazidas por ela à luz não sejam aproximações acidentais, mas relações verdadeiras, que manifestam as relações que existem realmente entre as essências; podemos e devemos, numa palavra, procurar tornar essas classificações tão pouco artificiais, tão naturais quanto possível.

Ora, se sabemos poucas coisas sobre as relações que possuem entre si as substâncias materiais, isso se deve a, pelo menos duas verdades das quais estamos seguros; a saber, que essas relações não são nem indeterminadas, nem contraditórias; portanto, todas as vezes que a física nos propuser duas teorias irreconciliáveis sobre um mesmo conjunto de leis, ou ainda, todas as vezes que ela simbolizar um conjunto de leis por meio de certas hipóteses e outro conjunto de leis por meio de outras hipóteses incompatíveis com as precedentes, estamos seguros de que a classificação que tal física nos propõe não está em conformidade com a ordem natural das leis, com a ordem na qual as ordenaria uma inteligência que vê as essências; ao fazer desaparecer as incoerências da teoria, teremos alguma chance de aproximá-la dessa ordem, de torná-la mais natural e, portanto, mais perfeita.

7.

Retornemos ao estudo das características que distinguem os físicos da escola inglesa.

A necessidade de encadear logicamente suas deduções, de conduzir em ordem seus pensamentos, leva o físico francês ou alemão a ser prudente e até mesmo tímido. Ele não quer sofrer, em suas teorias, nem contradições, nem lacunas; de modo que toda proposição cuja ligação com os princípios admitidos não é clara e evidente, tudo o que é estranho, tudo o que é surpreendente, parece-lhe, por esse mesmo fato, dever ser colocado em dúvida.

Ocorre algo totalmente diferente com o inglês; o estranho não o aflige; a surpresa, nele, não engendra a dúvida; ele parece ao contrário procurar, no domínio da ciência, tudo o que é imprevisto, tudo o que é audacioso.

Enquanto o físico francês e sobretudo o físico alemão, quando descobrem uma lei nova, comprazem-se em uní-la aos princípios admitidos,

em mostrar que ela decorre naturalmente desses princípios, o físico inglês, pelo contrário, compraz-se em dar uma aparência paradoxal até mesmo às conseqüências lógicas das teorias mais universalmente aceitas; essa tendência é bastante sensível nas diversas aplicações que W.Thomson faz dos princípios da termodinâmica; ela aparece com muita clareza sobretudo quando se comparam os escritos que ele consagrou a essas questões com aqueles que Clausius escreveu sobre as mesmas questões.

O espírito prudente dos físicos do continente está marcado sobretudo na hesitação com a qual abordam certas questões situadas nos limites da ciência: a constituição íntima do mundo material, o que ele era há milhões de séculos, o que ele será em milhões de séculos; essas questões tão vastas, tão complexas, tão perturbadoras, não podemos vê-las resolvidas sem que um arrepio de ceticismo nos faça estremecer. O inglês ignora esses temores: a grandeza e a distância dos átomos, a constituição da matéria, a natureza da luz e da eletricidade, a dissipação da energia, a origem e duração do calor solar são os problemas que preocupam W.Thomson, Maxwell, Tait; sua vigorosa imaginação volta-se comodamente em saltos audaciosos que não são estorvados pelos vínculos do rigor lógico; ela se compraz em tratar de números com grandeza ou pequenez incríveis, como o atleta se compraz com os prodigiosos exercícios que lhe proporcionam a consciência do vigor de seus músculos.

Nos líderes da escola inglesa, em W.Thomson e Maxwell, essa tendência para tratar as coisas estranhas e perturbadoras conhece limites; mas não tem mais limites em seus discípulos; comunicação do pensamento à distância, espiritismo, magia, convulsões da imaginação moderna que a razão não mantém mais em equilíbrio; W.Crookes, O.Lodge, Tait aceitam tudo isso; tratam essas questões com a mesma confiança, a mesma tranquilidade que uma questão de óptica ou de eletricidade; para eles, o inverossímil tem toda a chance de ser verdadeiro.

Essa temeridade do espírito inglês representa grande perigo para a ciência, que não se mantém mais em guarda contra a extravagância; ela tem, por outro lado, suas vantagens; ela favorece em alto grau a invenção.

Nossa necessidade de não admitir nada que não se deduza claramente de princípios aceitos torna-nos desconfiados em relação a toda descoberta inesperada; dessa necessidade decorre o espírito rotineiro, hostil às novidades, tão freqüentemente criticado nos cientistas do continente e nas academias que compõem. Esse temor do imprevisto, inimigo nato do gênio inventivo, o inventor o encontra não apenas a sua volta, mas também dentro de si; sua própria razão se recusa a admitir a exatidão do pensamento novo que germina nele, enquanto não tenha analisado esse pensamento e enquanto não o tenha feito entrar num sistema de deduções logicamente encadeadas. Explica-se assim que as invenções aparecidas no continente não sejam tão numerosas, nem sobretudo tão audaciosas quanto as invenções nascidas na Inglaterra ou na América; que os inventores não tenham, na Inglaterra e na

(4): 63-84, 1989.

América, que enfrentar as mesmas dificuldades, não estejam expostos às mesmas hostilidades, que na França ou na Alemanha.

Na Inglaterra, o inventor encontra em si e à sua volta condições que asseguram a seu pensamento um livre desenvolvimento e uma acolhida favorável; o mesmo vale para o conferencista.

Para aqueles que têm pouco estudo da ciência, a imaginação prima sobre a razão; a solidez de princípios, o rigor das deduções, interessam-lhes menos que a audácia e a estranheza das conseqüências; o conferencista deve pois dirigir-se à imaginação de seu auditório e não a sua razão; é isso o que torna o cientista francês menos adequado para o papel de conferencista; ele não pode decidir-se a enunciar proposições sem liame lógico, e quando seu auditório não está em condição de apreender o liame real que une essas proposições, ele prefere estabelecer um que seja falso e artificial que deixar de estabelecê-lo; ele é desse modo levado por seu próprio auditório, que exige que lhe seja provado tudo o que se lhe mostra, ainda que seja incapaz de apreender as provas e de seguir as explicações; daí, a falta de sinceridade, os procedimentos de certo modo charlatanescos que adquire facilmente, entre nós, a conferência; daí, o desprezo que a maioria dos cientistas sérios ostentam com relação a essa espécie de ensinamento.

O sábio inglês, ao contrário, tem com seu auditório grandes afinidades; como seu auditório, ele tem a faculdade imaginativa mais desenvolvida que a dedutiva; ele não experimenta a necessidade de encadear silogismos; os fatos, abundantes, vivos, complicados se necessário, mas, tanto quanto possível, estranhos, imprevistos constituem o domínio em que se compraz sua inteligência; constituem também o que é mais apropriado para capturar seus ouvintes, que pedem mais para ver que para compreender; assim se explica o sucesso de Tait, W.Thomson, e o prodigioso triunfo das lições de Tyndall.

8.

Não conheço objeto de reflexão mais apropriado para fazer apreender as características da ciência inglesa que a comparação da obra de W.Thomson com a de Helmholtz. Entre esses dois gênios, as relações são abundantes: a mesma precocidade, cujas tentativas (coups d'essai) são magistrais (coups de maitre); a mesma fecundidade, que quarenta e cinco anos de produção científica contínua não esgotaram; a mesma amplitude de pensamento, que abarca sem esforços as mais diversas questões e as trata com igual originalidade; o mesmo renome, que os compatriotas desses dois cientistas citam com orgulho, que os príncipes sancionam através de títulos de nobreza, que toda a Europa saúda através de seus sufrágios. E entretanto, para aquele que medita ao ler seus trabalhos, que diferenças, que contrastes

entre W.Thomson e H.Helmholtz! O primeiro é, em sua plenitude, a inteligência inglesa; o outro, a inteligência alemã.

O que impressiona, numa primeira abordagem, na obra de Helmholtz, é o poder lógico que dá a essa obra uma tão majestosa unidade, uma tão ampla generalidade. Desde o primeiro trabalho de Helmholtz, desde os trabalhos *Sobre a Conservação da Força* que foram, na ciência, como que o manifesto do qual se originou uma revolução, as grandes linhas dessa obra estão traçadas; depois, com um espírito de continuidade de que a ciência oferece poucos exemplos, Helmholtz retoma cada um dos temas que esboçou, precisa-lhe os contornos, amplia-o, aprofunda-o, e a partir do que não parecia ser mais do que uma advertência, faz surgir todo um ramo da ciência. Sigamos o desenvolvimento de um só desses temas, a eletrodinâmica. No início, no *Erhaltung der Kraft*, apenas algumas páginas lhe são consagradas: a idéia primeira do potencial eletrodinâmico, uma consideração sobre as relações entre as ações eletrodinâmicas e o princípio de conservação da energia; eis os grãos semeados por Helmholtz; contemplemos agora a árvore no seu desenvolvimento; a idéia de potencial eletrodinâmico tornou-se o tronco vigoroso de onde saem, como outros tantos ramos mestres, a teoria da indução, as leis das forças que se exercem entre as correntes, as propriedades dos corpos dielétricos e dos corpos magnéticos; a exposição sumária da ligação que o princípio de conservação da energia estabelece entre as forças ponderomotrizes e as forças eletromotrizes engendrou esses prodigiosos trabalhos *sobre o papel do princípio da mínima ação na física*, que une a eletrodinâmica à mecânica, à termodinâmica, à óptica; assim se eleva, como um carvalho robusto, essa síntese que parece ter absorvido, elaborado, e feito frutificar tudo o que havia de vigoroso na obra eletrodinâmica de W.Weber, F.E.Neumann, Maxwell, Kirchhoff e C.Neumann.

O poder de generalização que desenvolve, a força lógica que conduz tudo à unidade não constituem ainda todo o gênio de Helmholtz; a essas duas qualidades, que ele possui em grau eminente, é necessário ainda acrescentar uma terceira: a penetração da análise que disseca e reduz a seus últimos elementos, a seus princípios irredutíveis, as questões que lhe são submetidas: disso decorrem essas profundas pesquisas sobre os fundamentos da geometria e essas meditações, tão satisfatórias para o espírito, sobre a origem dos axiomas da aritmética; é esse poder da análise que explica a unidade e amplitude das teorias de Helmholtz; se o carvalho é sólido, se seus ramos são robustos, se sua folhagem abundante cobre com sua sombra um vasto prado, é porque suas raízes penetram profundamente no solo, assegurando-lhe a firmeza do ponto de apoio e a abundância da seiva nutridora.

Que contraste com a obra de Thomson! A unidade, a generalidade, a profundidade das teorias de Helmholtz desapareceram para dar lugar a uma infinita variedade de considerações brilhantes, engenhosas, por vezes geniais,

das quais cada uma se desenvolve por sua própria conta e sem se preocupar com as outras; não é mais um carvalho o que temos diante dos olhos, e sim um feixe de flores de mil formas, de mil cores, cujas hastes se emaranham sem se unir. Helmholtz, com prudência, sonda sem cessar o terreno sobre o qual constrói, assegura-se da solidez das fundações de seu edifício; Thomson, menos preocupado com o rigor dos princípios, vai até às conseqüências mais afastadas, mais ousadas, às vezes mais temerárias e mais arriscadas; partindo da física, Helmholtz retorna pela análise, de princípio em princípio, até encontrar a metafísica; Thomson desce, de conseqüência em conseqüência, até às aplicações industriais; o primeiro é um dos mais profundos filósofos de nosso século; o segundo é um dos mais inventivos engenheiros.

9.

Quando se afirma diante de certas pessoas que existe uma maneira *inglesa* de conceber a ciência física, muito diferente da maneira francesa ou da alemã, vemos que essas pessoas se espantam; a ciência não é essencialmente internacional? Poincaré nos retrata a surpresa de um leitor francês que abre o tratado de Maxwell. "O que entende ele por leitor francês?", reclama Joseph Bertrand¹⁹, "Por que supor que um inglês ou um alemão ficariam menos chocados com a falta de rigor? Dois séculos foram suficientes para mudar o espírito das nações, e os descendentes de Newton aceitam hoje a imaginação na física, deixando aos compatriotas de Descartes o respeito ao rigor e o amor à precisão?"

Está fora de contestação que a lógica é uma só; que seus princípios se impõem, com o mesmo inelutável rigor a um francês, a um inglês e a um alemão; que as condenações que ela pronuncia se estendem a todos os países e que não há exílio que possa proteger aquele que a contraria; mas se a lei lógica é a mesma em todos os tempos e em todos os países, se em todos os lugares e sempre considera-se que aqueles que a respeitam raciocinam da mesma maneira, há, em compensação, uma infinidade de maneiras de lhe desobedecer, de pecar contra ela, e essas violações da lei lógica sofrem a influência da época e do meio em que são cometidas; a verdade, impessoal, não traz a marca das circunstâncias nas quais foi descoberta; o erro, obra do homem, resulta de seus hábitos, de seus preconceitos, de idéias que o circundam, de ignorâncias no meio das quais ele vive; ele varia de acordo com essas condições e se explica por elas. Do mesmo modo, a lei moral é idêntica a quem e além dos Pirineus; mas as violações dessa lei, mas o

(19) Joseph Bertrand, *Journal des Savants*, dezembro, 1891, p. 743.

conjunto de atos imorais apresentam as mesmas características gerais na França e na Espanha? Não sofrem a influência das raças e dos meios?

No domínio científico, não é unicamente o erro que traz a marca especial do povo no seio do qual uma doutrina germinou e cresceu; a pesquisa teórica, temos dito com frequência e não seria exagero repetí-lo, não está inteiramente, em cada uma de suas partes, em cada uma das operações com as quais é composta, submetida às leis inflexíveis da lógica; algumas das operações elementares que a constituem, por exemplo, a escolha das hipóteses sobre as quais assenta cada teoria, escapam em vários sentidos às presas dessas leis; naqueles lugares onde a lógica não traça para o físico um caminho do qual ele não possa se afastar, o porte especial de seu espírito, suas faculdades dominantes, as doutrinas difundidas em seu ambiente, a tradição de seus predecessores, os hábitos que ele assimilou, a educação que ele recebeu vão servir-lhe de guia, e todas essas influências vão aparecer na forma tomada pela teoria que ele conceberá. Compreende-se, portanto, sem esforço, que uma teoria científica possa trazer a marca do tempo e do lugar em que nasceu, que a obra de Maxwell ou de Thomson seja uma obra essencialmente inglesa e que ela surpreenda um francês ou um alemão.

O que acabamos de dizer explica por que a influência da raça à qual pertence o autor de uma teoria, do meio no qual ele vive, da época em que trabalha, se faz sentir muito mais nas partes errôneas ou simplesmente hipotéticas da teoria do que nas partes às quais sua forma lógica dá uma maior certeza.

De resto, pode-se fazer uma observação análoga em todos os casos em que se procura precisar a influência que a raça e o meio exercem sobre uma obra humana; aquilo que, nessa obra, está submetido a essa influência, são sobretudo os defeitos; eis porque ela participa dos preconceitos e ignorâncias do mais comum dos homens; aquilo que, pelo contrário, escapa a essa influência, é aquilo que torna essa obra verdadeiramente original, aquilo que leva o autor a se distinguir de seus ancestrais e de seus contemporâneos, aquilo que anima o sopro de espírito; pois, sem se importar com os meios e raças, com as barreiras físicas e as fronteiras políticas, o espírito sopra onde ele quer.

ALGUMAS REFLEXÕES ACERCA DA FÍSICA EXPERIMENTAL

ALGUMAS REFLEXÕES ACERCA DA FÍSICA EXPERIMENTAL¹

PRIMEIRA PARTE

O QUE É UMA EXPERIÊNCIA DA FÍSICA?

1. Uma experiência da física não é simplesmente a observação de um fenômeno; é, além disso, a interpretação teórica desse fenômeno

O que é uma experiência da física? Eis uma questão que surpreenderá, sem dúvida, mais de um leitor da *Revue des Questions Scientifiques*. É necessário formular essa questão? A resposta não é evidente? Produzir um fenômeno físico dentro de condições tais que se possa observá-lo exata e minuciosamente, com o auxílio de instrumentos apropriados, não é esta a operação que todo o mundo designa por estas palavras: uma experiência da física?

Entremos num laboratório; aproximemo-nos dessa mesa repleta de vários aparelhos: uma pilha elétrica, fios de cobre recobertos de seda, cadinhos cheios de mercúrio, bobinas, uma barra de ferro que sustenta um espelho. Um observador introduz em pequenos orifícios a haste metálica de uma ficha cuja extremidade é feita de ebonite; o ferro oscila e, pelo espelho ao qual está ligado, transmite-se sobre uma régua de celulóide uma faixa luminosa da qual o observador segue os movimentos. Isso é, sem dúvida, uma experiência: esse físico observa minuciosamente as oscilações do pedaço de ferro. Perguntemos agora o que ele faz; responderá: "estudo as oscilações da barra de ferro que sustenta o espelho."? Não; ele responderá que mede a resistência elétrica de uma bobina. Se nos surpreendermos, se lhe perguntarmos que sentido têm essas palavras e que relação elas têm com os fenômenos que ele constatou, que constatamos ao mesmo tempo que ele, responderá que esta questão necessitaria de explicações bastante longas e nos mandará fazer um curso de eletricidade.

Com efeito, a experiência que vimos ser feita, como toda experiência da física, comporta duas partes: consiste, em primeiro lugar, na observação de certos fenômenos; para fazer essa observação, basta estar atento e ter os sentidos suficientemente apurados; não é necessário saber física. Em segundo lugar, ela consiste na *interpretação* dos fatos observados; para poder fazer esta interpretação, não basta ter a atenção de sobreaviso e o olho exercitado,

(1) Este ensaio foi publicado com o título "Quelques Réflexions au sujet de la Physique Expérimentale", *Revue des Questions Scientifiques*, XXXVI, p.179-229.

é preciso conhecer as teorias admitidas, é preciso saber aplicá-las, é necessário ser físico. Todo homem pode, se vê claramente, seguir os movimentos de uma mancha luminosa sobre uma régua transparente, ver se caminha para a direita ou para a esquerda, se se detém neste ou naquele ponto; não tem necessidade, para isso, de ser um grande cientista; mas se ignorar a eletrodinâmica, não poderá concluir a experiência, não poderá medir a resistência da bobina.

Tomemos um outro exemplo. Regnault estuda a compressibilidade dos gases; toma uma certa quantidade de gás; encerra-o num tubo de vidro; mantendo a temperatura constante, mede a pressão que o gás suporta e o volume que ele ocupa. Dir-se-á que temos aí a observação minuciosa e precisa de certos fenômenos, de certos fatos. Seguramente, diante de Regnault, nas suas mãos, nas mãos de seus auxiliares, os fatos se produzem. É o relato desses fatos que Regnault consignou para contribuir com o avanço da física? Não. Num visor, Regnault vê a imagem de uma certa superfície de mercúrio chegar até uma certa marca. É isto que ele inclui no relato de suas experiências? Não, ele conclui que o gás ocupa um volume com um certo valor. Um auxiliar levanta e abaixa a lente de um catetômetro até que a imagem de um outro nível de mercúrio chegue a nivelar-se com a linha de uma retícula; ele observa, então, a disposição de certas marcas sobre o nônio do catetômetro. É isso que encontramos na dissertação de Regnault? Não, o que lemos é que a pressão suportada pelo gás tem determinado valor. Um outro auxiliar vê, num termômetro, o mercúrio nivelar-se a uma certa marca invariável. É isso o que ele consigna? Não, registra-se que a temperatura era fixa e atingia um certo grau. Ora, o que são o valor do volume ocupado pelo gás, o valor da pressão que ele suporta, o grau de temperatura ao qual ele é levado? São fatos? Não, são três abstrações.

Para formar a primeira dessas abstrações, o valor do volume ocupado pelo gás, e para fazê-la corresponder ao fato observado, isto é, ao nivelamento do mercúrio a uma certa marca, é preciso aferir o tubo, isto é, fazer apelo não somente às noções abstratas da geometria e aritmética, aos princípios abstratos sobre os quais repousam estas ciências, mas, ainda, à noção abstrata de massa, às hipóteses da mecânica geral e da mecânica celeste que justificam o emprego da balança na comparação de massas. Para formar a segunda, o valor da pressão suportada pelo gás, é preciso usar noções tão profundas e tão difíceis de serem obtidas como as noções de pressão e força de ligação; é preciso pedir auxílio às leis matemáticas da hidrostática, fundadas elas mesmas sobre os princípios da mecânica geral; fazer intervir a lei da compressibilidade do mercúrio, cuja determinação remete às mais delicadas e controversas questões da teoria da elasticidade. Para formar a terceira, é preciso definir a temperatura, justificar o emprego do termômetro; e todos os que estudaram com algum cuidado os princípios da física sabem o quanto a noção de temperatura está distante dos fatos e é difícil de apreender.

São Paulo, (4): 87-118, 1989.

Assim, quando Regnault faz uma experiência, ele tem fatos diante dos olhos e observa fenômenos; mas o que nos transmite dessa experiência, não é o relato dos fatos observados, mas dados abstratos que as teorias admitidas lhe permitiam substituir pelos documentos concretos que ele realmente recolhia.

O que Regnault faz, é o que faz necessariamente todo físico experimental; é por isso que podemos enunciar este princípio, cujas consequências serão desenvolvidas por este estudo:

Uma experiência da física é a observação precisa de um grupo de fenômenos, acompanhada da INTERPRETAÇÃO desses fenômenos. Essa interpretação substitui os dados concretos realmente recolhidos pela observação por representações abstratas e simbólicas que lhes correspondem em virtude das teorias físicas admitidas pelo observador.

2. Esse gênero de experiência caracteriza as ciências que chegaram à fase dita racional

Declarando que a interpretação dos fatos por meio de teorias admitidas pelo observador é parte integrante de uma experiência da física, que é impossível, em tal experiência, dissociar ou separar a constatação dos fatos e a transformação que a teoria lhes faz sofrer, poderemos escandalizar mais de um espírito zeloso do rigor científico. Muitos nos objetarão com as regras cem vezes traçadas pelos filósofos e observadores, de Bacon a Claude Bernard, do *Novum Organum à Introduction à la Médecine Experimentale*. Que a teoria sugira as experiências a serem realizadas, nada melhor. Uma vez feita a experiência e constatados nitidamente os resultados, que a teoria se apodere deles para generalizá-los, coordená-los, extraindo deles novos temas para a experiência, nada de melhor ainda. Mas, enquanto durar a experiência, a teoria deve permanecer à porta do laboratório, deve guardar silêncio e, sem perturbá-lo, deixar o experimentador face a face com os fatos. Estes últimos devem ser observados sem idéias preconcebidas, recolhidos com a mesma imparcialidade minuciosa, quer confirmem as previsões da teoria, quer as contradigam. O relato que o observador nos dá de sua experiência deve ser um decalque fiel e escrupulosamente exato dos fenômenos; não deve nem mesmo nos deixar suspeitar em qual sistema o experimentador tem confiança, nem de qual ele desconfia.

Essa regra é boa para certas ciências: para aquelas em que é possível aplicá-la.

Tome-se, por exemplo, um fisiologista. Ele admite que as raízes anteriores da medula espinhal contém os cordões motores e as raízes posteriores, os cordões sensitivos. A teoria que ele aceita o conduz a imaginar uma experiência. Se ele cortar tal raiz anterior, deverá eliminar a mobilidade de tal parte do corpo sem eliminar a sensibilidade; quando,

depois de ter seccionado essa raiz, observar os resultados, ele deve evidentemente fazer a abstração de todas as idéias referentes à fisiologia da medula. Seu relato deve ser um decalque bruto dos fatos; não lhe é permitido silenciar sobre um movimento, um estremecimento contrário a suas previsões. Não lhe é permitido atribuí-lo a alguma causa secundária, a menos que uma experiência especial tenha colocado essa causa em evidência. Ele deve, se não quiser ser acusado de má fé científica, estabelecer uma separação absoluta, um anteparo estanque, entre as consequências de suas deduções teóricas e os resultados de suas experiências.

Esse método convém às ciências ainda próximas de sua origem, como a fisiologia, ou certos ramos da química, às ciências em que o pesquisador observa diretamente os fatos, onde ele raciocina imediatamente sobre os fatos observados. Ele não é aplicável às ciências mais avançadas, à física, por exemplo, às ciências que chegaram ao estágio de desenvolvimento, em que o instrumento matemático representa um papel essencial, a essa fase que os teóricos do começo do século caracterizaram, muito impropriamente aliás, pelos epítetos de *analítica* ou *racional*.

O número e a complicação dos fatos da experiência, a multiplicidade de leis que constituem a física formariam hoje um inextricável caos, se o espírito humano não tivesse encontrado um meio de elucidar essa massa enorme de documentos, classificá-los, traduzi-los em uma linguagem clara e concisa. Esse meio lhe é fornecido pelo emprego de teorias físicas. Explicamos noutro lugar² como essas teorias substituem as propriedades dos corpos cujas variações constituem os fenômenos físicos e as leis experimentais que regem esses fenômenos por uma espécie de representação simbólica, de esquema formado de elementos emprestados da álgebra e da geometria. As teorias físicas são o vocabulário que faz corresponder a cada propriedade física uma grandeza, a cada lei física, uma equação.

O uso desse vocabulário é, até este ponto, indispensável ao físico, pois lhe será impossível, sem ele, enunciar a menor lei, relatar a menor observação. Tome-se uma experiência qualquer, por exemplo, a experiência de Regnault a que nos referimos há pouco. Tente-se expô-la expulsando da linguagem todas as expressões abstratas introduzidas pelas teorias físicas, as palavras: pressão, temperatura, densidade, eixo ótico de uma lente, coeficiente de dilatação, etc. Perceber-se-á que o relato dessa única experiência exigirá um volume, cuja inextricável confusão desviará a razão mais atenta; ou ainda, perceber-se-á que a tentativa é irrealizável. Do mesmo modo que um francês, habituado a sua língua materna, não pode

(2) "Quelques Réflexions au sujet des Théories Physiques", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. série, t.I, 1892. "Physique et Métaphysique", *Ibid.*, t.II, 1893. "L'École Anglaise et les Théories Physiques", *Ibid.*, T.II, 1893.

São Paulo, (4): 87-118, 1989.

conceber um pensamento sem enunciá-lo ao mesmo tempo em francês, um físico não concebe mais um fato da experiência sem lhe fazer corresponder imediatamente a expressão abstrata, esquemática, dada pela teoria. Eis porque ele diz que mede a pressão de um gás, ainda que através de um tubo com vidros arredondados, ele veja uma mancha negra sobre um fundo branco; eis porque ele declara que determina a resistência elétrica de uma bobina, ainda que ele coloque fichas de cobre dentro de pequenos orifícios e que veja uma faixa luminosa passear sobre uma régua de chifre. Pretender separar a observação de um fenômeno físico de toda teoria, gabar-se de haver escrito uma dissertação de física *puramente experimental*, é uma tentativa ilusória, como o seria a tentativa de enunciar uma idéia sem empregar nenhum sinal falado ou escrito.

Para dizer a verdade, o físico não é único que faz apelo às teorias para enunciar o resultado de suas experiências. O químico, o fisiologista, quando fazem uso de instrumentos da física, do termômetro, manômetro, calorímetro, galvanômetro, admitem implicitamente a exatidão das teorias que justificam o emprego desses aparelhos, das teorias que conferem um sentido às noções abstratas de pressão, temperatura, quantidade de calor, intensidade de corrente, pelas quais se substituem as indicações concretas desses instrumentos. Mas as teorias das quais fazem uso, assim como os instrumentos que empregam, pertencem ao domínio da física; aceitando, com os instrumentos, as teorias sem as quais suas indicações estariam desprovidas de sentido, é no físico que o químico e o fisiologista depositam sua confiança, é o físico que eles supõem infalível. O físico, ao contrário, é obrigado a confiar em suas próprias idéias teóricas ou nas de seus colegas. Do ponto de vista lógico, a diferença é de pouca importância. Para o fisiologista, para o químico, assim como para o físico, o enunciado do resultado de uma experiência implica, em geral, um ato de fé na exatidão de todo um conjunto de teorias.

Mais ainda, à medida que uma ciência progride, que se distancia do simples conhecimento empírico, da constatação das leis mais grosseiras, o papel representado pela teoria na interpretação dos fatos da experiência vai crescendo. Quando uma ciência começa, quando não é de certa forma mais que o senso comum tornado mais atento, a relação que ela constata entre os fatos da experiência é um decalque exato da realidade observada. A fisiologia, em várias de suas partes, oferece-nos a imagem de uma ciência nesse estágio; depois, à medida que ela progride, a espessura das considerações teóricas que separa o fato concreto, realmente constatado pelo observador, e a tradução abstrata, simbólica, que ela fornece, torna-se mais considerável. Tome-se, por exemplo, a química no seu estado atual. Considere-se, em particular, aquele de seus ramos cujo desenvolvimento é o mais perfeito, a química dos compostos de carbono, a química orgânica. Que diferença entre um fato da experiência e a interpretação teórica, a tradução simbólica fornecida pelo químico! Avalie-se a distância que separa este

enunciado: a experiência nos informa que substituindo um H da benzina pelo grupo ácido COOH, obtém-se o ácido benzóico, das observações concretas, realmente feitas, que ele representa, e compreender-se-á que quanto mais uma ciência progride, mais a tradução simbólica que ela substitui pelos fatos da experiência é abstrata e distante dos fatos.

3. Que uma experiência da física nunca pode condenar uma hipótese isolada, mas somente todo um conjunto teórico

O físico que dá conta de uma experiência reconhece implicitamente a exatidão de todo um conjunto de teorias. Admitamos este princípio e vejamos que consequências é possível deduzir disso quando se procura apreciar o papel e o alcance lógico de uma experiência da física.

Para evitar qualquer confusão, distingüiremos duas espécies de experiências: as experiências de *aplicação* e as experiências de *prova*.

Estamos diante de um problema da física a ser resolvido praticamente. Para produzir um certo efeito, queremos fazer uso dos conhecimentos adquiridos pelos físicos. Queremos, por exemplo, acender uma lâmpada elétrica incandescente. As teorias admitidas nos indicam o meio de resolver o problema; mas, para fazer uso desse meio, devemos obter certas informações; devemos, por exemplo, determinar a força eletromotriz da pilha de que dispomos. Se medimos essa força eletromotriz, temos uma *experiência de aplicação*. Essa experiência não tem por fim reconhecer se as teorias admitidas são ou não exatas. Ela se propõe simplesmente a tirar partido dessas teorias. Para isso, fazemos uso de instrumentos que legitimam essas mesmas teorias. Não há nada que se oponha à lógica.

Mas as experiências de aplicação não são as únicas que o físico tem para fazer. É somente através delas que a ciência pode ajudar na prática. Não é através delas que a ciência é criada e desenvolvida. Além das experiências de aplicação, existem as *experiências de prova*.

Um físico contesta tal lei, coloca em dúvida tal ponto da teoria. Como justificar suas dúvidas? Como demonstrar a inexatidão da lei? Da proposição incriminada, ele extrairá a previsão de um fato da experiência; ele realizará as condições nas quais esse fato deve-se produzir. Se o fato não se produzir, a proposição estará irremediavelmente condenada.

F.E. Neumann admitiu que, em um raio de luz polarizada, a vibração era paralela ao plano de polarização. Muitos físicos colocaram em dúvida essa proposição. Como O. Wiener procedeu para transformar essa dúvida em negação certa, para condenar a proposição de Neumann? Ele deduziu dessa proposição a seguinte consequência: se se fizer interferir uma faísca luminosa refletida sobre uma lâmina de vidro com a faísca incidente polarizada perpendicularmente ao plano de incidência, franjas paralelas à superfície refletora devem ser produzidas. Ele realizou as condições nas quais essas

São Paulo, (4): 87-118, 1989.

franjas deviam produzir-se, e mostrou que as franjas previstas não se produziam. Concluiu que a proposição de F.E. Neumann era falsa; que, em um raio de luz polarizada, a vibração não é paralela ao plano de polarização.

Esse modo de demonstração parece tão convincente, tão irrefutável quanto a redução ao absurdo usual nas matemáticas. É, de resto, sobre essa redução ao absurdo que tal demonstração está calcada, a contradição experimental representando numa o papel que a contradição lógica representa na outra.

Em realidade, faz-se necessário que o valor demonstrativo do método experimental seja tão rigoroso, tão absoluto. As condições dentro das quais ele funciona são muito mais complicadas do que se supõe; a apreciação de seus resultados é muito mais delicada e suspeita.

Um físico propõe-se a demonstrar a inexatidão de uma proposição. Para deduzir dessa proposição a previsão de um fenômeno, para instituir a experiência que deve mostrar se esse fenômeno se produz ou não, para interpretar os resultados dessa experiência e constatar que o fenômeno previsto não se produziu, ele não se limita a fazer uso da proposição em litígio, ele emprega ainda todo um conjunto de teorias, admitidas por ele sem contestação. A previsão do fenômeno cuja não produção deve resolver o debate não deriva da proposição litigiosa tomada isoladamente, mas da proposição litigiosa unida a todo esse conjunto de teorias. Se o fenômeno previsto não se produz, não é a proposição litigiosa isoladamente que é considerada imperfeita, é toda a armação teórica de que o físico fez uso. A única coisa que a experiência nos informa, é que entre todas as proposições que serviram para prever esse fenômeno e para constatar que ele não se produziu, há pelo menos um erro. Mas onde reside esse erro, é o que ela não nos diz. O físico declara que esse erro está precisamente contido na proposição que ele quer refutar e não em outro lugar? Sim, porque ele admite implicitamente a exatidão de todas as outras proposições que ele usou; e essa confiança vale tanto quanto sua conclusão.

Tomemos, por exemplo, a experiência de O.Wiener. Para prever a formação de franjas dentro de certas circunstâncias e para mostrar que essas franjas não se produziam, Wiener não usou somente a célebre proposição de Neumann, a proposição que ele queria refutar. Ele não admitiu apenas que, em um raio polarizado, as vibrações eram paralelas ao plano de polarização. Ele se serviu, além disso, de proposições, leis, hipóteses, que constituem a ótica comumente aceita. Admitiu que a luz consistia em vibrações periódicas simples, que em cada ponto, a força viva média do movimento vibratório média a intensidade luminosa, que o ataque de uma película fotográfica marcava os diversos graus dessa intensidade. É juntando essas diversas proposições, e muitas outras que seria bastante longo enumerar, àquela de Neumann, que ele pôde formular uma previsão e reconhecer que a experiência desmentia essa previsão. Se, segundo Wiener, o desmentido se endereça somente à proposição de Neumann, se só ela deve ter a

responsabilidade pelo erro que esse desmentido colocou em evidência, é porque Wiener vê como fora de dúvida as outras proposições por ele invocadas. Mas essa confiança não se impõe por necessidade lógica. Nada impede considerar exata a proposição de Neumann e fazer cair a contradição experimental sobre alguma outra hipótese comumente admitida da ótica. Pode-se muito bem, como mostrou Poincaré, arrancar a hipótese de Neumann das presas da experiência de Wiener, mas sob a condição de abandonar em troca a hipótese que toma a força viva média do movimento vibratório como medida da intensidade luminosa. Pode-se, sem contradição com a experiência, deixar a vibração paralela no plano de polarização, contanto que a intensidade luminosa seja medida pela energia potencial média do meio que deforma o movimento vibratório.

Esses princípios têm uma tal importância que não será de todo inútil aplicá-los a um segundo exemplo. Escolhamos ainda uma experiência considerada como uma das mais decisivas da ótica.

Sabe-se que Newton imaginou uma teoria dos fenômenos óticos, a teoria da emissão. Ele supunha que a luz é formada de projéteis excessivamente sutis, lançados com uma extrema velocidade pelo sol e outras fontes luminosas. Esses projéteis penetram em todos os corpos e sofrem, por parte das diversas partes dos corpos em cujo seio se movem, ações atrativas ou repulsivas. Muito potentes quando a distância que separa as partículas agentes é muito pequena, essas ações desaparecem quando as massas entre as quais elas se exercem estão sensivelmente afastadas. Essas hipóteses essenciais, unidas a muitas outras acerca das quais silenciemos, conduzem a formular uma teoria completa da reflexão e da refração da luz. Em particular, elas acarretam esta consequência: o índice de refração da luz que passa de um meio a outro é igual à velocidade do projétil luminoso no meio no qual penetra dividida por sua velocidade no meio do qual sai.

É esta consequência que Arago escolheu para colocar a teoria da emissão em contradição com os fatos. Dessa proposição, com efeito, decorre esta outra: a luz move-se mais velozmente na água que no ar. Compare-se, por um procedimento que Arago indicou e que Foucault tornou aplicável, pois era impraticável, a velocidade da luz na água com a velocidade da luz no ar e encontrar-se-á que a primeira é menor que a segunda. Pode-se então concluir com Foucault que o sistema da emissão é incompatível com a realidade dos fatos.

Digo o *sistema* da emissão e não a *hipótese* da emissão. Com efeito, o que a experiência declara maculado pelo erro, é todo o conjunto de proposições admitidas por Newton, e depois dele por Laplace e por Biot: é toda a teoria da qual se deduz a relação entre o índice de refração e a velocidade da luz nos diversos meios. Mas ao condenar em bloco esse sistema, ao declarar que ele está maculado pelo erro, a experiência não nos diz onde reside esse erro. Está na hipótese fundamental de que a luz consiste em projéteis lançados com uma grande velocidade pelos corpos luminosos?

Está em alguma outra suposição referente às ações que os corpúsculos luminosos sofrem por parte dos meios no seio dos quais eles se movem? Não o sabemos. Seria temerário acreditar, como Arago parece ter pensado, que a experiência de Foucault condena para sempre a própria hipótese da emissão, a assimilação de um raio de luz a um feixe de projéteis. Quem sabe se não veremos um dia surgir uma ótica nova fundada sobre essa suposição?

Em resumo, o físico jamais pode submeter ao controle da experiência uma hipótese isolada, mas somente todo um conjunto de hipóteses. Quando a experiência está em desacordo com suas previsões, ela lhe informa que pelo menos uma das hipóteses que constituem esse conjunto está errada e deve ser modificada, mas ela não lhe indica aquela que deve ser mudada.

Estamos aqui bem longe do mecanismo experimental tal como o imaginam de bom grado as pessoas estranhas a seu funcionamento. Pensa-se comumente que cada uma das hipóteses que a física usa pode ser tomada isoladamente, submetida ao controle da experiência e, depois, quando provas variadas e múltiplas tiverem constatado o seu valor, ser colocada num lugar de uma maneira quase definitiva dentro do conjunto da ciência. Em realidade, não é assim; a física não é uma máquina que se deixa desmontar. Não se pode experimentar cada peça isoladamente, e esperar, para ajustá-la, que sua solidez tenha sido minuciosamente controlada. A ciência física é um organismo que se deve tomar por inteiro. É um organismo do qual não se pode fazer funcionar uma parte sem que as partes mais distantes desta entrem em jogo, umas mais, outras menos, mas todas em algum grau. Se algum embarço ou algum incômodo se revela no seu funcionamento, o físico será obrigado a descobrir qual é o órgão que tem necessidade de ser corrigido ou modificado, sem que lhe seja possível isolar esse órgão e examiná-lo à parte. O relojoeiro, a quem se dá um relógio que não funciona, separa todas as engrenagens e as examina uma a uma, até que tenha encontrado a que está ruim ou quebrada. O médico a quem se apresenta um doente não pode dissecá-lo para estabelecer o seu diagnóstico. Ele deve descobrir a causa do mal somente pela inspeção dos efeitos produzidos sobre o corpo inteiro. É a esta última forma, não à outra, que se assemelha o físico encarregado de corrigir uma teoria defeituosa.

4. O EXPERIMENTUM CRUCIS é impossível na física

Insistamos ainda, pois tocamos em um dos pontos essenciais do método experimental empregado na física.

A redução ao absurdo, que não parece ser mais que um instrumento de refutação, pode tornar-se um método de demonstração. Para demonstrar que uma proposição é verdadeira, é suficiente encurralar em uma consequência absurda aquele que admitisse a proposição contraditória

àquela. Sabe-se o partido que os geômetras gregos tiraram deste modo de prova.

Aqueles que assimilam a contradição experimental à redução ao absurdo pensam que se pode seguir na física um método semelhante ao que Euclides usou na geometria. Queremos obter de um grupo de fenômenos uma explicação teórica certa e incontestável? Enumerem-se todas as hipóteses que é possível fazer-se para dar conta desse grupo de fenômenos; depois, pela contradição experimental, eliminem-se todas, salvo uma. Esta última deixará de ser uma hipótese para tornar-se uma certeza. Suponha-se, em particular, que apenas duas hipóteses estejam presentes. Procurem-se as condições experimentais tais que uma das hipóteses anuncie a produção de um fenômeno completamente diferente e realizem-se essas condições observando o que acontece. Conforme seja observado o primeiro dos fenômenos previstos ou o segundo, condenar-se-á a segunda hipótese ou a primeira; aquela que não for condenada será, de agora em diante, incontestável. O debate estará resolvido, uma verdade nova será adquirida pela física. Nisso consiste o *experimentum crucis*.

Dois hipóteses referentes à natureza da luz são apresentadas. Para Newton, Laplace e Biot, a luz consiste em projéteis lançados com uma extrema velocidade; para Huygens, Young e Fresnel, a luz consiste em vibrações cujas ondas se propagam num meio elástico. Estas duas hipóteses são as únicas cuja possibilidade se entrevê: ou o movimento é transportado pelo corpo que ele anima, ou ele passa de um corpo a outro. Siga-se a primeira hipótese; ela enuncia que a luz viaja mais velozmente na água que no ar. Siga-se a segunda; ela enuncia que a luz viaja mais velozmente no ar que na água. Construa-se o aparelho de Foucault e coloque-se em movimento o espelho rotatório; duas manchas se formarão, uma branca e outra esverdeada. A franja esverdeada está à esquerda da franja branca? É porque a luz viaja mais velozmente na água que no ar; é porque a hipótese das ondulações é falsa. A franja esverdeada está à direita da franja branca? É porque a luz viaja menos velozmente na água que no ar; é porque a hipótese da emissão está condenada. Compare-se a posição das duas franjas e se vê a franja esverdeada à direita da franja branca. O debate é julgado: a luz não é um corpo; é um movimento vibratório cujas ondas se propagam num meio elástico; a hipótese da emissão perdeu; a hipótese das ondulações deixou de ser duvidosa. Ela é um novo artigo do *Credo* científico.

O que dissemos no parágrafo precedente mostra como nos enganamos ao atribuir à experiência de Foucault uma significação tão simples e um alcance tão decisivo. A experiência de Foucault não decide entre duas hipóteses – a hipótese da emissão e a hipótese ondulatória – mas entre dois conjuntos teóricos, cada um tomado em bloco; entre dois sistemas, entre a ótica de Newton e a ótica de Huygens.

Mas admitamos por um instante que, em cada um destes dois sistemas, tudo seja forçoso, tudo seja logicamente necessário, exceto uma

única hipótese. Admitamos, por conseguinte, que os fatos, condenando um dos dois sistemas, condenem num golpe seguro a única suposição duvidosa que ele encerra. Resulta disso que se pode encontrar no *experimentum crucis* um meio irrefutável de transformar em verdade certa uma das duas hipóteses presentes, do mesmo modo que a redução ao absurdo de um teorema assegura a verdade do teorema contraditório? Entre duas proposições contraditórias da geometria, não há lugar para um terceiro juízo. Se uma é falsa, a outra é necessariamente verdadeira. Acontece o mesmo com duas hipóteses da física? Ousaremos afirmar que nenhuma outra hipótese é imaginável? A luz pode ser um enxame de projéteis; pode ser um movimento vibratório cujas ondas são propagadas por um meio elástico; não pode ser ela nada além de uma ou outra destas duas coisas? Arago pensava que sim, mas nos seria difícil compartilhar sua convicção, desde que Maxwell propôs atribuir a luz a correntes elétricas periódicas transmitidas no seio de um meio dielétrico.

O método experimental não pode transformar uma hipótese física em uma verdade incontestável, pois jamais se está seguro de haver esgotado todas as hipóteses imagináveis referentes a um grupo de fenômenos. O *experimentum crucis* é impossível. A verdade de uma teoria física não se decide num jogo de cara ou coroa.

5. Consequências dos princípios precedentes para o ensino da física

Imagina-se, em geral, que cada hipótese física pode ser separada do conjunto e submetida isoladamente ao controle da experiência. Naturalmente deste princípio errôneo, deduzem-se conseqüências falsas referentes ao método segundo o qual a física deve ser ensinada. Pretende-se que o professor organize todas as hipóteses da física em uma certa ordem; que ele tome a primeira, que ele forneça o enunciado, que ele exponha suas verificações experimentais e, depois, quando estas verificações tiverem sido suficientemente reconhecidas, que ele declare a hipótese aceita. Recomeçaria a mesma operação para a segunda, para a terceira, e assim por diante, até que a física estivesse inteiramente constituída. A física seria ensinada como se ensina a geometria. As hipóteses se seguiriam como se seguem os teoremas. A prova experimental de cada suposição substituiria a demonstração de cada proposição. Não se adiantaria nada que não estivesse imediatamente justificado pelos fatos; tal é o ideal a que se propõem muito dos professores e que muito pensam talvez ter atingido.

Esse ideal é uma idéia falsa. Essa maneira de conceber o ensino da física deriva de uma concepção errônea da ciência experimental. Se a interpretação da menor experiência da física supõe o emprego de todo um conjunto de teorias, se a própria descrição dessa experiência exige uma série de expressões abstratas, simbólicas, da qual as teorias unicamente fixam o

sentido e a correspondência com os fatos, é necessário que o físico se decida a desenvolver uma longa cadeia de hipóteses e deduções antes de tentar a menor comparação entre o edifício teórico e a realidade concreta. Ainda mais deverá muitas vezes, descrevendo as experiências que verificam as teorias já desenvolvidas, antecipar as teorias por vir. Ele não poderá, por exemplo, tentar a menor verificação experimental dos princípios da dinâmica antes de ter não somente desenvolvido o encadeamento das proposições da mecânica geral, mas ainda, lançado as bases da mecânica celeste. Ainda mais deverá, ao relatar as observações que verificam este conjunto de teorias, supor conhecidas as leis da ótica que são as únicas a justificar o emprego de instrumentos astronômicos.

Que o professor desenvolva pois, em primeiro lugar, as teorias essenciais da ciência; sem dúvida, expondo as hipóteses sobre as quais repousam essas teorias, é preciso que assinale os dados do senso comum, os fatos recolhidos pela experiência vulgar, que conduziram a formular essas hipóteses; mas que ele proclame bem alto que esses fatos, suficientes para sugerir as hipóteses, não o são para verificá-las. Somente depois de constituir um corpo extenso de doutrina, somente depois de constituir uma teoria completa é que ele poderá comparar com a experiência as consequências dessa teoria.

O ensino deve fazer o aluno apreender essa verdade capital: as verificações experimentais não são a base da teoria, elas são seu coroamento. A física não progride como a geometria. Esta cresce pelo acréscimo contínuo de um novo teorema, demonstrado de uma vez por todas, que se acrescenta aos teoremas já demonstrados. A física é um quadro simbólico, ao qual contínuos retoques fornecem extensão e unidade sempre crescentes; quadro esse cujo *conjunto* forma uma imagem cada vez mais precisa do *conjunto* de fatos da experiência, ao passo que cada detalhe dessa imagem, cortada e isolada do todo, perde toda a significação e não representa mais nada.

6. Que o resultado de uma experiência da física é um juízo abstrato e simbólico

Toda experiência da física compreende essencialmente, além da constatação de um fenômeno ou de um grupo de fenômenos, uma interpretação que coloca em jogo todo um conjunto de teorias admitidas pelo observador. Essa interpretação tem por fim substituir os fatos concretos realmente observados por representações abstratas e simbólicas. Da primeira parte deste princípio, deduzimos algumas consequências. Examinemos agora a segunda parte.

Salta aos olhos de quem quer que reflita sobre a física que o resultado das operações a que se entrega um experimentador não é apenas um fato, mas um símbolo abstrato. Abra-se uma dissertação qualquer de física

experimental e leiam-se as conclusões. Estas não são o relato de certos fatos; são enunciados abstratos aos quais não se pode ligar nenhum sentido, se não se conhece as teorias físicas admitidas pelo autor. Lê-se, por exemplo, que a força eletromotriz de tal pilha aumenta tantos volts quando a pressão suportada pela pilha aumenta tantos kilogramas por centímetro quadrado. O que significa este enunciado? Aquele que ignora a física e para quem tal enunciado permanece letra morta, poderia ser tentado a ver nele uma simples maneira de exprimir em linguagem técnica, incognoscível aos leigos, mas clara para os iniciados, um fato constatado pelo observador; isto será um erro. É verdade que o iniciado, que conhece as teorias da física, pode traduzir esse enunciado em fatos, pode realizar a experiência cujo resultado é assim expresso; mas, e isso é notável, pode realizá-la de uma infinidade de maneiras diferentes: ele pode exercer a pressão despejando o mercúrio num tubo de vidro, manejando uma prensa hidráulica; ele pode medir essa pressão com um manômetro a ar livre, com um manômetro a ar comprimido, com um manômetro metálico; para apreciar a variação da força eletromotriz, ele poderá empregar sucessivamente todos os tipos de eletrômetros, galvanômetros, eletrodinamômetros. Cada nova disposição de aparelhos fornecerá ao físico fatos novos a constatar. Ele poderá empregar disposições de aparelhos que o autor da dissertação não tinha suspeitado e ver fenômenos que esse autor jamais vira. Entretanto, todas essas manipulações tão diversas que um profano não perceberia entre elas nenhuma analogia, não são experiências diferentes, são somente formas diferentes de uma mesma experiência. Os fatos que se produziram são tão dissemelhantes quanto possível. Entretanto, a constatação desses fatos se exprime por este enunciado único: a força eletromotriz de tal pilha aumenta tantos volts quando a pressão aumenta tantos kilogramas por centímetro quadrado.

Vê-se que esse enunciado não é o relato, feito numa linguagem técnica e abreviada, de certos fatos observados, mas é a transposição destes para o mundo abstrato e esquemático criado pelas teorias físicas. Nesse mundo em que o instrumento que está diante de mim não é mais uma reunião de peças de cobre parafusadas, de fios metálicos recobertos de seda e enrolados sobre um quadro, de uma pequena peça de aço suspensa por um fio de seda, mas uma *bússola de tangentes*, isto é, uma circunferência de círculo percorrida por uma corrente, no centro da qual se encontra um elemento magnético; mundo em que uma pilha não é mais um tubo de grés ou de vidro, cheio de certos líquidos, onde se banham certos sólidos, mas um ser da razão, simbolizado por certas fórmulas químicas, por uma certa força eletromotriz e por uma certa resistência.

7. Da aproximação nas experiências da física

Entre um símbolo abstrato e um fato pode existir correspondência, não pode haver inteira paridade. O símbolo abstrato não pode ser a representação adequada do fato concreto, o fato concreto não pode ser a realização do símbolo abstrato; o esquema abstrato pelo qual um físico exprime os fatos concretos que ele constatou no curso de uma experiência não pode ser o equivalente exato, o relato fiel de suas constatações.

Vimos resultar disso que fatos concretos muito diferentes podem se fundar uns nos outros quando são interpretados pela teoria, podem constituir nada mais que uma mesma experiência e exprimir-se por um enunciado simbólico único. Veremos resultar inversamente que a um mesmo conjunto de fatos concretos pode-se fazer corresponder, em geral, não só um único juízo simbólico, mas uma infinidade de juízos diferentes e logicamente incompatíveis entre si.

Para constatar os fenômenos que se produzem numa experiência da física, não temos outro meio senão recorrer ao testemunho de nossos sentidos, da vista, do ouvido ou do tato. Por mais complicados e perfeitos que sejam os instrumentos empregados, seu uso se remete, em última análise, a constatações de nossos sentidos. Ora, é uma verdade do senso comum que nossos sentidos têm uma sensibilidade limitada. Tudo o que se encontra abaixo de um certo limite de pequenez lhes escapa. A linguagem ordinária, moldada sobre os dados dos sentidos, lega às palavras uma certa vaguidade que traduz as incertezas de nossas percepções.

Não acontece o mesmo com a linguagem simbólica criada pelas teorias físicas. Graças ao emprego de noções matemáticas, essa linguagem exprime-se em juízos suscetíveis de um rigor e de uma precisão ilimitadas. Tampouco pode haver equivalência exata entre um fato constatado pelos sentidos com a indecisão que comporta uma semelhante constatação e um juízo teórico enunciado sob uma forma matemática que exclui toda ambiguidade. Para traduzir em sua linguagem a incerteza produzida pela sensibilidade limitada de nossas percepções, a teoria substitui o relato de um grupo de fatos não por um juízo abstrato único, mas por uma infinidade de juízos entre os quais ela nos deixa a liberdade de escolher; ou, melhor dizendo, entre os quais não devemos escolher, mas devemos aceitar todos conjuntamente. Esses juízos são diferentes e inconciliáveis entre si. Do ponto de vista da lógica matemática, um não pode ser verdadeiro sem que o outro seja falso; mas tome-se uma e outra dessas proposições teóricas e apliquem-se a essas proposições as teorias admitidas para deduzir as consequências que os instrumentos utilizados na física permitem traduzir em fatos sensíveis. Os sentidos não poderão distinguir entre as consequências deduzidas de uma e as consequências deduzidas da outra. Eis porque, enquanto as matemáticas consideram essas duas proposições como mutuamente exclusivas, a física as considera como idênticas.

Esta verdade é essencial para a compreensão do método experimental; é a correspondência de um mesmo grupo de fatos a uma infinidade de proposições teóricas diferentes, que se exprime ao enunciar esta proposição: os resultados de uma experiência da física são apenas *aproximados*. Fixar a aproximação que comporta a experiência, é marcar a indeterminação da proposição abstrata e simbólica pela qual o físico substitui os fatos concretos que realmente observou, é precisar os limites que essa indeterminação não deve transpor.

Esclareçamos esses princípios gerais por meio de um exemplo.

Um experimentador fez certas observações. Ele as traduziu através deste enunciado: um aumento de cem atmosferas na pressão faz crescer a força eletromotriz de uma pilha a gás em 0,0845 volts; ele poderá também dizer legitimamente que ela faz crescer essa força eletromotriz em 0,0844 volts, ou ainda, que ela a faz crescer em 0,0846 volts. Como estas proposições diferentes podem ser equivalentes para a física? Pois, se um número é 845, não pode ser ao mesmo tempo 844, nem tampouco 846. Eis aqui o que o físico entende ao declarar que estes três juízos são idênticos: se, tomando como ponto de partida o valor 0,0845 volts para a diminuição da força eletromotriz, ele calcula por meio de teorias admitidas o desvio da agulha de seu galvanômetro, isto é, o único fato que seus sentidos podem constatar, ele encontrará para esse desvio um certo valor; se ele repete o mesmo cálculo tomando como ponto de partida o valor 0,0846 ou o valor 0,0844 volts para a diminuição da força eletromotriz, ele encontrará outros valores para o desvio do imã. Mas os três desvios assim calculados diferirão bastante pouco para que a vista possa discerni-los; é por isso que o físico não distinguirá estas três avaliações do crescimento da força eletromotriz: 0,0844 volts; 0,0845 volts; 0,0846 volts; enquanto o matemático as considera como incompatíveis entre si.

Suponhamos que todos os valores da diminuição da força eletromotriz compreendidos entre 0,0840 volts e 0,0850 volts conduzem, por meio de cálculos fundados sobre as teorias admitidas, a consequências que não poderiam distinguir as leituras feitas no instrumento do qual se serve o físico. O físico não poderá dizer que esse crescimento é igual a 0,0845 volts, mas somente que é um dos números compreendidos entre 0,0840 volts e 0,0850 volts; ou melhor dizendo, que esse crescimento pode ser indiferentemente representado por qualquer um desses números. Essa infinidade de avaliações possíveis será representada por ele toda de uma só vez, escrevendo, por exemplo, que cem atmosferas fazem crescer a força eletromotriz da pilha em $(0,0845 \pm 0,0005 \text{ volts})$.

O grau de aproximação de uma experiência depende de dois elementos essenciais: a natureza e a perfeição do instrumento empregado e a interpretação teórica das experiências.

As explicações precedentes mostram muito claramente que o grau de aproximação de uma experiência depende do instrumento empregado na

realização da experiência. Suponhamos dois juízos abstratos distintos; solicitemos às teorias admitidas quais são as consequências que esses dois juízos acarretam quando são aplicados a um primeiro instrumento e quais são as consequências que eles acarretam quando são aplicados a um segundo instrumento. Esses dois juízos poderão traduzir-se em um dos instrumentos por dois fatos diferentes, mas que os sentidos não poderão distinguir entre si, e no outro instrumento por fatos que os sentidos distinguirão sem esforço. Equivalentes para o físico que faz uso do último aparelho, esses dois juízos não o serão mais para o físico que se serve do primeiro. Esta verdade é bastante clara para que seja necessário insistir nela.

Mas o instrumento não é o único elemento cujo aperfeiçoamento aumenta a precisão de uma experiência. Pode-se ainda aumentar essa precisão aperfeiçoando-se a interpretação teórica, eliminando-se as *causas do erro* por meio de *correções* apropriadas. É o que nos resta explicar.

8. Das correções e das causas do erro nas experiências da física

À medida que a física se aperfeiçoa, vê-se estreitar a indeterminação do grupo de juízos abstratos que o físico faz corresponder a um fato concreto. A aproximação dos resultados experimentais vai crescendo, não somente porque os construtores fornecem instrumentos cada vez mais precisos, mas também porque as teorias físicas fornecem, para estabelecer a correspondência entre os fatos e as idéias esquemáticas, que servem para representá-las, regras cada vez mais satisfatórias. Essa precisão crescente obtém-se, é verdade, por uma complicação crescente, pela obrigação de observar, ao mesmo tempo que o fato principal, uma série de fatos acessórios, pela necessidade de submeter as constatações brutas da experiência a manipulações e transformações cada vez mais numerosas e delicadas. Essas transformações, a que se submetem os dados imediatos da experiência, são as *correções*.

Se a experiência da física fosse a simples constatação de um fato, seria absurdo aplicar-lhe as correções. Quando o observador tivesse observado minuciosamente e cuidadosamente, não lhe restaria senão dizer: eis o que eu vi. Não teria fundamento responder-lhe: vistes tal coisa, mas não é isto o que deverias ver; permite-me fazer alguns cálculos que te ensinarão o que deverias ver.

Ao contrário, compreende-se muito bem o papel lógico das correções, quando lembramos que uma experiência da física é a constatação de um conjunto de fatos, seguida da tradução desses fatos em um juízo simbólico, por meio de regras emprestadas das teorias físicas.

Diante do físico está um instrumento, um conjunto de corpos concretos. É esse instrumento que ele manipula; é sobre esse instrumento

que ele faz as constatações sensíveis, as *leituras*, base da experiência. Não é sobre esse instrumento que ele raciocina para interpretar a experiência: ele raciocina sobre um instrumento esquemático, que não é mais uma reunião de corpos concretos, mas um conjunto de noções matemáticas, que é formado de sólidos perfeitos ou de fluidos perfeitos, tendo uma certa densidade, uma certa temperatura, submetidos em cada ponto a uma certa força representada por uma grandeza geométrica.

Esse instrumento esquemático não é e não pode ser o equivalente exato do instrumento real. Mas concebe-se que ele possa nos dar uma imagem mais ou menos perfeita. Concebe-se que depois de ter raciocinado sobre um instrumento esquemático bastante simples e bastante distante da realidade, o físico procura substituí-lo por um esquema mais complicado, mas mais semelhante. Essa passagem de um instrumento esquemático a um outro que simboliza melhor o instrumento concreto, é essencialmente a operação designada na física pela palavra "correção".

Um auxiliar de Regnault lhe fornece a altura de uma coluna de mercúrio contida num manômetro. Regnault a corrige. Ele suspeita que seu auxiliar tenha visto mal, que esteja enganado? Não, ele tem plena confiança nas leituras que foram feitas. Se ele não tivesse esta confiança, não poderia corrigir a experiência, não poderia senão recomeçá-la. Se, pois, a uma altura lida por seu auxiliar, Regnault substitui uma outra, é em virtude de raciocínios destinados a tornar menos díspares entre si o manômetro abstrato, ideal, que só existe em seu espírito e ao qual se ligam seus cálculos, e o manômetro concreto, de vidro e mercúrio, que está diante de seus olhos e no qual seu auxiliar fez as leituras. Regnault poderia representar este manômetro real por um manômetro ideal formado de mercúrio incompressível, tendo por toda a parte a mesma temperatura, submetido em todo ponto de sua superfície livre a uma pressão atmosférica independente da altura. Entre este esquema bastante simples e a realidade, a disparidade seria bastante grande, e, portanto, a precisão da experiência seria insuficiente. Então, ele concebe um novo manômetro ideal, mais complicado que o primeiro, mas representando melhor o manômetro real e concreto. Ele supõe esse novo manômetro formado de um fluido compressível. supõe que a temperatura varia de um ponto a outro, admite que a pressão barométrica muda quando nos elevamos na atmosfera. Estes retoques no esquema primitivo constituem também correções: correção relativa à compressibilidade do mercúrio, correção relativa ao aquecimento desigual da coluna de mercúrio, correção de Laplace relativa à altura barométrica. Todas essas correções têm por fim aumentar a precisão da experiência. O físico que, pelas correções, complica a representação teórica dos fatos observados para permitir a essa representação aproximar-se mais de perto da realidade, é semelhante ao artista que, depois de haver concluído um desenho de traços, acrescenta-lhe sombras, para melhor exprimir sobre uma superfície plana o relevo do modelo.

Aquele que não vê nas experiências da física mais que constatações de fatos não compreende o papel representado, nessas experiências, pelas correções, não compreende tampouco o que se entende quando se fala das *causas do erro* que uma experiência comporta.

Deixar subsistir uma causa de erro numa experiência é omitir uma correção que poderia ser feita e que aumentaria a precisão da experiência; é contentar-se com uma representação teórica muito simples, ao passo que se poderia substituí-la por uma imagem mais complicada, mas mais perfeita da realidade; é contentar-se com um esboço de traços quando se poderia fazer um desenho acabado.

Nas suas experiências sobre a compressibilidade dos gases, Regnault deixara subsistir uma causa de erro que ele não havia percebido e que foi apontada depois. Ele negligenciou a ação da gravidade sobre o gás submetido à compressão. O que se pretende dizer quando se censura Regnault por não ter levado em conta esta ação, por ter omitido esta correção? Pretendemos dizer que seus sentidos o enganaram na observação de fenômenos produzidos diante dele? De modo algum. Censuramo-lhe ter simplificado excessivamente a imagem teórica desses fatos representando como um fluido homogêneo o gás submetido à compressão, quando, se o tivesse considerado como um fluido cuja densidade varia com a altura segundo uma certa lei, ele teria obtido uma nova imagem abstrata, mais complicada que a primeira, mas reproduzindo melhor a realidade.

9. Da crítica de uma experiência da física. No que ela difere do exame de um testemunho ordinário

Sendo uma experiência da física algo totalmente diferente da simples constatação de um fato, concebe-se sem dificuldade que a verdade, que a certeza de um resultado da experiência sejam coisas de uma ordem totalmente diferente que a verdade, que a certeza de um fato constatado; que essas certezas de natureza tão diferentes se apreciam por métodos inteiramente distintos.

Quando uma testemunha sincera, sã de espírito para não tomar os jogos de sua imaginação por percepções, conhecendo muito bem a língua da qual se serve para exprimir claramente o seu pensamento, afirma ter constatado um fato, o fato é certo. Se eu declaro que em tal dia, a tal hora, em tal rua da cidade, vi um cavalo branco, a menos que existam razões para me considerar como um mentiroso ou como um alucinado, deve-se crer que nesse dia, a essa hora, nessa rua, havia um cavalo branco.

A confiança que deve ser outorgada à proposição enunciada por um físico como resultado de uma experiência não tem a mesma natureza. Se o físico se limitar a nos contar os fatos que ele viu, que seus olhos viram, o que se chama visto, seu testemunho deve ser examinado segundo as regras gerais

São Paulo, (4): 87-118, 1989.

próprias para fixar o grau de confiança que merece o testemunho de um homem. Se o físico for reconhecido digno de fé – e penso que, em geral, é o que acontece – seu testemunho deverá ser recebido como a expressão da verdade.

Mas, ainda uma vez, o que o físico enuncia como o resultado de uma experiência, não é o relato dos fatos constatados; é a interpretação desses fatos, é sua transposição para o mundo abstrato, simbólico, criado pelas teorias que ele considera como estabelecidas.

Assim, depois de ter submetido o testemunho do físico às regras que fixam o grau de confiança merecido pelo relato de uma testemunha, ter-se-á concluído apenas uma parte, e a parte mais fácil, da crítica de sua experiência.

É necessário, em primeiro lugar, inquirir com grande cuidado as teorias que ele considera como estabelecidas e que empregou na interpretação dos fatos por ele constatados; na falta de conhecimento dessas teorias, seria impossível apreender o sentido que ele atribui a seus próprios enunciados. Esse físico estaria diante de nós como uma testemunha diante de um juiz que não entende a sua língua.

Se as teorias admitidas por esse físico são as que aceitamos, se concordamos em seguir as mesmas regras na interpretação dos mesmos fenômenos, falamos a mesma língua e podemos nos entender. Mas não é sempre assim; não é assim quando se discute as experiências de um físico que não pertence à mesma escola; não é assim, sobretudo, quando se discute as experiências de um físico cinquenta anos, um século, dois séculos separados de nós. É necessário então procurar estabelecer uma correspondência entre as idéias teóricas do autor que se está estudando e as nossas, interpretar de novo, por meio de símbolos que aceitamos, aquilo que ele teria interpretado por meio de símbolos aceitos por ele. Se tivermos êxito, a discussão de sua experiência tornar-se-á possível. Essa experiência será um testemunho feito numa língua estranha à nossa, mas numa língua da qual possuímos o vocabulário. Podemos examiná-la.

Newton, por exemplo, fez certas observações referentes ao fenômeno dos anéis coloridos. Ele interpretou essas observações na teoria ótica que havia criado, na teoria da emissão. Interpretou-as como dando, para os corpúsculos luminosos de cada cor, a distância entre um acesso de fácil reflexão e um acesso de fácil transmissão. Quando Young e Fresnel fizeram renascer a teoria das ondulações para substituir a teoria da emissão, foi-lhes possível fazer corresponder em certos pontos os elementos da nova teoria aos elementos da antiga. Eles viram, em particular, que a distância entre um acesso de fácil reflexão e um acesso de fácil transmissão correspondia à quarta parte do que a nova teoria chamava de comprimento de onda. Graças a esta observação, os resultados das experiências de Newton puderam ser traduzidos na linguagem das ondulações. Os números dados por Newton, multiplicados por 4, davam os comprimentos de onda das diversas cores.

Se, ao contrário, não se puder obter informações suficientes sobre as idéias teóricas do físico cujas experiências estão em discussão, se não se chega a estabelecer uma correspondência entre os símbolos que ele adotou e os símbolos fornecidos pelas teorias recebidas, se não podemos traduzir em nossa linguagem as proposições pelas quais ele representou os resultados dessa experiência, esses resultados não serão para nós verdadeiros nem falsos. Eles serão desprovidos de sentido; eles serão letra morta. Quantas observações, acumuladas pelos físicos de antigamente, caíram assim no esquecimento! Seus autores negligenciaram o esclarecimento sobre os métodos de que se serviram para interpretar os fatos; nos é impossível transpor suas interpretações para nossas teorias. Eles encerraram suas idéias em sinais dos quais nós não temos a chave.

Essas primeiras regras parecerão talvez ingênuas e nossa insistência causará espanto; entretanto, se essas regras são banais, é ainda mais banal infringi-las. Quantas não são as discussões científicas em que cada um dos dois defensores pretende esmagar seu adversário sob o testemunho irrecusável dos fatos, apresentando observações contraditórias. A contradição não está na realidade, sempre de acordo com ela mesma. Ela está entre as teorias pelas quais cada um dos dois contendores exprime essa realidade. Quantas proposições assinaladas como monstruosos erros nos escritos daqueles que nos precederam! Talvez seriam celebradas como grandes verdades, se se quisesse informar-se a respeito das teorias que conferem seu verdadeiro sentido a essas proposições, se se tivesse o cuidado de traduzi-las na linguagem das teorias praticadas hoje.

Mas suponhamos que se tenha constatado o acordo entre as teorias admitidas por um experimentador e as que consideramos como exatas. É necessário de imediato que possamos fazer nossos os juízos pelos quais ele enuncia os resultados de suas experiências; é necessário examinar agora se, na interpretação dos fatos observados, ele aplicou corretamente as regras traçadas pelas teorias que ele e nós aceitamos; se ele fez todas as correções necessárias. Muitas vezes, se achará que o experimentador não satisfaz a todas as exigências legítimas. Ao aplicar as teorias, ele cometeu um erro de raciocínio ou de cálculo, omitiu uma correção indispensável e deixou subsistir uma causa de erro que poderia ter sido eliminada.

O experimentador empregou, para interpretar suas observações, teorias que aceitamos como ele; ele aplicou corretamente, nessa interpretação, as regras que essas teorias prescrevem; ele eliminou as causas de erro ou corrigiu os efeitos; isto não é ainda suficiente para que possamos adotar os resultados de suas experiências. Dissemos que as proposições abstratas que as teorias fazem corresponder aos fatos não estão inteiramente determinadas. Aos mesmos fatos pode corresponder uma infinidade de proposições diferentes, uma infinidade de avaliações que se exprimem por números diferentes. O grau de indeterminação possível da proposição abstrata, matemática, pelo qual se exprime o resultado de uma experiência, é

10. Inferior em certeza à constatação não científica de um fato, a experiência da física a ultrapassa em precisão

Se o relato de uma experiência da física não tem a certeza imediata, relativamente fácil de ser constatada, do testemunho vulgar, não científico, ela tem superioridade sobre este último pelo número e minuciosa precisão dos detalhes que nos faz conhecer.

O testemunho ordinário, aquele que relata um fato constatado pelos procedimentos do senso comum e não pelos métodos científicos, só pode ser certo sob a condição de não ser detalhado, de não ser minucioso, de tomar o fato bruto apenas naquilo que ele tem de mais aparente. Em tal rua da cidade, a tal hora, eu vi um cavalo branco; eis o que posso afirmar com certeza. Talvez, a esta afirmação geral eu possa juntar alguma particularidade que, à exclusão de outros detalhes, teria atraído minha atenção: uma estranheza na postura do cavalo, uma excentricidade nos seus arreios. Mas não me sejam feitas muitas questões, minhas lembranças turvaram-se e minhas respostas tornar-se-ão vagas; em breve serei mesmo constrangido a dizer: eu não sei. Salvo exceção, o testemunho vulgar tem tanto mais certeza quanto menos preciso é, pois ele analisa menos, atendo-se às considerações mais grosseiras e mais óbvias.

O relato de uma experiência científica é completamente diferente. Ela não se contenta em nos fazer conhecer um fenômeno bruto. Ela pretende analisá-lo, fazendo-nos conhecer o menor detalhe e a mais minuciosa particularidade, marcando exatamente o lugar e a importância relativa de o grau de aproximação dessa experiência. É necessário conhecer o grau de aproximação da experiência que se examina. Se o experimentador o indicou, é necessário que nos certifiquemos dos raciocínios que lhe serviram para avaliar. Se ele não o indicou, é necessário determiná-lo por nossas próprias discussões. Essa apreciação do grau de aproximação que é comportado por uma experiência dada é uma operação delicada; ela é frequentemente tão complicada que uma ordem inteiramente lógica é difícil de ser mantida. O raciocínio deve então dar lugar a essa qualidade rara, sutil, a essa espécie de perspicácia que se chama de senso experimental, apanágio do "esprit de finesse" antes que do espírito geométrico.

A simples descrição das regras que presidem o exame de uma experiência de física, a sua aceitação ou a sua rejeição, é suficiente para pôr em evidência esta verdade essencial: o resultado de uma experiência da física não tem uma certeza da mesma ordem que um fato constatado pelos métodos não científicos, pela simples visão ou o simples tato de um homem sadio de corpo e de espírito; menos imediata, submetida a discussões que escapam ao testemunho vulgar, essa certeza permanece sempre subordinada à confiança que inspira todo um conjunto de teorias.

cada detalhe, de cada particularidade. Essa pretensão excederia suas forças, como ela excede as forças da observação vulgar, se uma não estivesse melhor armada do que a outra. O número e a minúcia de detalhes que acompanham e compõem cada fenômeno, desviariam a imaginação, excederiam a memória e desafiariam a linguagem, se o físico não tivesse a seu serviço um excelente instrumento de classificação e de expressão, uma representação simbólica admiravelmente clara e abreviada, que é a teoria matemática; se ele não tivesse, para marcar a importância relativa de cada particularidade, o meio de apreciação exato e breve que lhe fornece a avaliação numérica, a medida. Já dissemos que se alguém, por uma aposta, empreendesse a descrição de uma experiência da física atual excluindo toda a linguagem teórica, encheria um volume inteiro de relatos, os mais inextricáveis, os mais confusos e os menos compreensíveis que possamos imaginar.

Se, pois, a interpretação teórica retira dos resultados da experiência da física a certeza imediata, indiscutível, que oferecem os dados da observação vulgar, em compensação é a interpretação teórica que permite à experiência científica penetrar na análise e na descrição detalhada dos fenômenos para além do senso comum.

SEGUNDA PARTE

O QUE É UMA LEI DA FÍSICA?

1. As leis da física são relações simbólicas

Do mesmo modo que as leis do senso comum estão fundadas sobre a observação dos fatos pelos meios naturais ao homem, as leis da física estão fundadas sobre os resultados das experiências da física. É óbvio que as diferenças profundas que separam a constatação não científica de um fato do resultado de uma experiência da física separarão as leis do senso comum das leis da física. Por conseguinte, quase tudo o que dissemos das experiências da física poderia estender-se às leis que essa ciência enuncia.

Tomemos uma lei do senso comum, uma das mais simples, como uma das mais certas: todo homem é mortal. Seguramente esta lei liga entre si termos abstratos, a idéia abstrata de homem em geral e não a idéia concreta de um certo homem particular; a idéia abstrata de morte e não a idéia concreta de uma certa forma de morte. É sob essa única condição de ligar termos abstratos que ela pode ser geral.

Mas essas abstrações não são símbolos. Elas extraem simplesmente aquilo que há de geral nas realidades concretas às quais a lei se aplica; por conseguinte, em cada uma dessas particularidades a que aplicamos a lei,

São Paulo, (4): 87-118, 1989.

encontraremos objetos concretos satisfazendo essas idéias abstratas. Toda vez que quisermos aplicar a lei: todo homem é mortal, nos encontraremos em presença de um certo homem particular satisfazendo a idéia geral de homem, de uma certa morte particular satisfazendo a idéia geral de morte.

Não acontece o mesmo com as leis da física. Tomemos uma dessas leis, a lei de Mariotte, e examinemos seu enunciado, sem nos preocuparmos, por enquanto, com a exatidão dessa lei. A uma mesma temperatura, os volumes ocupados por uma mesma massa de gás estão na razão inversa das pressões que ela suporta; tal é o enunciado da lei de Mariotte. Os termos que ela faz intervir, as idéias de massa, temperatura, pressão são também idéias abstratas; mas essas idéias não são somente abstratas, elas são, além disso, simbólicas. Coloquemo-nos frente a um caso concreto, real, ao qual queremos aplicar a lei de Mariotte. Não teremos obtido uma certa temperatura concreta satisfazendo a idéia geral de temperatura, mas um gás mais ou menos quente; não teremos diante de nós uma certa pressão particular realizando a noção geral de pressão, mas o mercúrio num tubo de vidro. Sem dúvida, a esse gás mais ou menos quente corresponde uma certa temperatura, a esse mercúrio num tubo de vidro corresponde uma certa pressão, mas essa correspondência é a correspondência de uma coisa significada pelo sinal que a substitui, de uma realidade pelo símbolo que a representa.

Os termos abstratos dos quais trata uma lei do senso comum, não sendo outra coisa que o que existe de geral nos objetos concretos submetidos aos nossos sentidos, a passagem do concreto ao abstrato se faz por uma operação tão necessária e espontânea que permanece inconsciente. Colocado em presença de um certo homem, de um certo caso de morte, eu os ligo imediatamente à idéia geral de homem, à idéia geral de morte. Esta operação repentinã, irrefletida, fornece as idéias gerais não analisadas, as abstrações tomadas, por assim dizer, em bloco. Sem dúvida, essas idéias gerais e abstratas podem ser analisadas pelo pensador que tentar penetrar profundamente no sentido da palavra "homem", no sentido da palavra "morte". Esse trabalho o conduzirá a apreender melhor a razão de ser da lei; mas esse trabalho não é necessário para compreender a lei. É suficiente, para compreendê-la, tomar os termos que ela liga em seu sentido óbvio; por conseguinte, essa lei é clara para todos, filósofos ou não.

Os termos simbólicos que ligam uma lei da física não são mais essas abstrações que brotam espontaneamente da realidade concreta; são abstrações produzidas por um trabalho de análise lento, complicado, consciente, o trabalho secular que elaborou as teorias físicas. É impossível compreender a lei, impossível aplicá-la, se não se fizer esse trabalho, se não se conhecer as teorias físicas. Segundo a adoção de uma ou outra teoria, a lei muda de sentido, de sorte que ela pode ser aceita por um físico que admite tal teoria e rejeitada por um outro físico que admite outra teoria. Tomemos um camponês que jamais analisou a noção de homem e a noção de morte, e

um metafísico que passou a sua vida a analisá-las. Tomemos dois filósofos que as têm analisado, e que adotam definições diferentes, inconciliáveis. Para todos, a lei: todo homem é mortal, será igualmente clara e verdadeira. Tomemos, ao contrário, dois físicos que, não admitem as mesmas teorias mecânicas, não definem a pressão da mesma maneira; um, por exemplo, aceita as idéias de Lagrange, o outro adota as idéias de Laplace e de Poisson. Submetamos a esses dois físicos uma lei cujo enunciado faz intervir a noção de pressão. Eles entenderão esse enunciado de duas maneiras diferentes. Para compará-lo à realidade, eles farão cálculos diferentes, de sorte que um poderá achar que essa lei é verificada pelos fatos que, para o outro, a contradirão. Prova bem manifesta desta verdade: uma lei da física é uma relação simbólica cuja aplicação à realidade concreta exige que se conheça e que se aceite todo um conjunto de teorias.

2. Que uma lei da física não é, propriamente falando, nem verdadeira, nem falsa, mas aproximada

Uma lei do senso comum é um simples juízo geral, que é verdadeiro ou falso. Tomemos, por exemplo, esta lei da experiência vulgar: em Paris, o sol nasce cada dia no oriente, eleva-se no céu, depois desce e esconde-se no ocidente. Eis uma lei verdadeira, sem condição, sem restrição. Tomemos, ao contrário, este enunciado: a lua é sempre cheia. Eis uma lei falsa. Se a verdade de uma lei do senso comum é posta em questão, poder-se-á responder a essa questão com sim ou não.

Não acontece o mesmo com as leis que a ciência física, a qual atingiu seu pleno desenvolvimento, enuncia sob forma de proposições matemáticas. Tal lei é sempre simbólica. Ora, um símbolo não é, propriamente falando, nem verdadeiro, nem falso; é mais ou menos bem escolhido para significar a realidade que ele representa; ele a afigura de uma maneira mais ou menos precisa, mais ou menos detalhada. Mas, aplicadas a um símbolo, as palavras verdade, erro, não têm mais sentido; por isso, para aquele que pergunta se tal lei da física é verdadeira ou falsa, o lógico que tem se preocupado com o sentido estrito das palavras será obrigado a responder: eu não compreendo a questão. Comentemos esta resposta, que pode parecer paradoxal, mas cuja compreensão é necessária para aquele que pretende saber o que é a física.

A um fato dado, o método experimental, tal como a física o pratica, faz corresponder não apenas um único juízo simbólico, mas uma infinidade de juízos simbólicos diferentes. O grau de indeterminação do símbolo é o grau de aproximação da experiência em questão. Tomemos uma sequência de fatos análogos. Para o físico, encontrar a lei desses fatos, será encontrar uma fórmula que contém a representação simbólica de cada um destes fatos. A indeterminação do símbolo que corresponde a cada fato acarreta, então, a indeterminação da fórmula que deve reunir todos esses símbolos. A um

mesmo conjunto de fatos, pode-se fazer corresponder uma infinidade de fórmulas diferentes, uma infinidade de leis físicas distintas. Cada uma dessas leis, para ser aceita, deve fazer corresponder a cada fato não apenas o símbolo desse fato, mas um símbolo qualquer dentre os infinitos símbolos que podem representar esse fato. Eis o que se pretende dizer quando se declara que as leis da física são somente aproximadas.

Imaginemos, por exemplo, que não nos pudéssemos contentar com os esclarecimentos fornecidos por esta lei do senso comum: em Paris, o sol nasce todo dia no oriente, eleva-se no céu, depois desce e esconde-se no ocidente. Dirigir-nos-íamos às ciências físicas para ter uma lei precisa do movimento do sol visto em Paris, uma lei indicando ao observador parisiense que situação o sol ocupa a cada instante no céu. As ciências físicas, para resolver o problema, não farão uso das realidades sensíveis, do sol tal como o vemos brilhar no céu, mas de símbolos pelos quais as teorias representam essas realidades. O sol real, apesar das irregularidades de sua superfície, não obstante as imensas protuberâncias que ela contém, é substituído nas teorias por uma esfera geometricamente perfeita, e é a posição do centro dessa esfera ideal que elas procurarão determinar; ou, melhor dizendo, elas procurarão determinar a posição que esse ponto ocuparia se a refração astronômica não desviasse os raios de sol, se a aberração anual não modificasse a posição aparente dos astros. É, pois, um símbolo que elas substituem à única realidade sensível oferecida a nossas constatações, ao disco brilhante a que nossas lunetas podem visar. Para fazer corresponder o símbolo e a realidade, é necessário efetuar medidas complicadas, é necessário fazer coincidir as bordas da imagem do sol com um fio de micrômetro, é necessário processar múltiplas leituras sobre círculos divididos; são necessários, também, cálculos cuja legitimidade resulta das teorias admitidas, da teoria da refração atmosférica, da teoria da aberração.

Esse ponto, simbolicamente chamado de centro do sol, não é ainda o que nossas fórmulas apreenderão; o que elas apreenderão são as coordenadas desse ponto, sua ascensão direta e sua inclinação, coordenadas das quais o sentido não pode ser compreendido se não se conhecem as leis da cosmografia.

Ora, a uma posição determinada do disco solar só se pode fazer corresponder um único valor para a ascensão direta e um único valor para a inclinação do centro do sol, sendo as correções da aberração e da refração supostamente feitas? Não. O poder ótico do instrumento de que nos servimos para visar ao sol é limitado; as diversas observações comportadas por nossa experiência, as diversas leituras que ela exige são de uma sensibilidade limitada. Não podemos nos aperceber que o disco solar esteja em tal posição e não em outra, se o desvio é suficientemente pequeno. Suponhamos que não pudéssemos distinguir dois pontos quando sua distância angular é inferior a 1" Seria suficiente, para determinar a posição do sol em um instante dado, conhecer a ascensão direta e a inclinação do centro do sol com a

aproximação de 1"; então, para representar a trajetória do sol, que não ocupa a cada instante mais que uma única posição, poderíamos dar a cada instante não apenas um valor da ascensão direta e um valor da inclinação, mas uma infinidade de valores da ascensão direta e uma infinidade de valores da inclinação, somente que, para um mesmo instante, dois valores aceitáveis da ascensão direta ou dois valores aceitáveis da inclinação não poderão diferir em mais que 1".

Procuremos agora a lei do movimento do sol, isto é, duas fórmulas que permitem calcular, a cada instante de duração, o valor da ascensão direta do centro do sol e o valor da inclinação do mesmo ponto. Não é evidente que podemos adotar, para representar a trajetória da ascensão direta em função do tempo, não apenas uma única fórmula, mas uma infinidade de fórmulas diferentes, contanto que, a um mesmo instante todas essas fórmulas nos conduzam a valores da ascensão direta diferentes entre si em menos de 1"? Não é evidente que acontecerá o mesmo para a inclinação? Poderemos, pois, representar igualmente bem nossas observações sobre o caminho do sol por uma infinidade de leis diferentes. Essas diversas leis exprimir-se-ão por equações que a análise considera incompatíveis, por equações tais que, se uma dentre elas for verificada, nenhuma outra o será. Entretanto, para o físico, todas essas leis são igualmente aceitáveis, pois elas determinam a posição do sol com uma aproximação superior àquela que comporta a observação; o físico não tem o direito de dizer de alguma destas leis que ela é verdadeira à exclusão das outras.

Sem dúvida, entre essas leis, o físico tem o direito de escolher e, em geral, ele escolherá; mas os motivos que guiarão sua escolha não terão nem a mesma natureza, nem a mesma necessidade imperiosa daquela que obriga a preferir a verdade ao erro. Ele escolherá uma certa fórmula porque é mais simples que as outras. A fraqueza de nosso espírito nos constringe a atribuir uma grande importância às considerações dessa ordem; mas não estamos mais no tempo em que se supunha que a inteligência do Criador estava afetada pela mesma debilidade, tempo em que se recusava, em nome da simplicidade das leis da natureza, toda lei que exprimissem uma equação algébrica muito complicada. O físico preferirá sobretudo uma lei a outra, quando a primeira derivar de teorias que ele admite. Ele exigirá, por exemplo, da teoria da atração universal as fórmulas que deve preferir entre todas aquelas que poderiam representar o movimento do sol. Mas as teorias físicas são apenas um meio de classificar e de ligar entre si as leis aproximadas a que as experiências estão submetidas. As teorias não podem, pois, modificar a natureza de uma dessas leis e lhe conferir a verdade absoluta.

Assim, toda lei da física é uma lei aproximada; por conseguinte, para o lógico estrito, ela não pode ser nem verdadeira, nem falsa. Toda lei que represente as mesmas experiências com a mesma aproximação pode

pretender tão justamente quanto a primeira, o título de lei verídica, ou de modo mais rigoroso, de lei aceitável.

3. Que toda lei da física é provisória

O caráter essencial de uma lei é a fixidez. Uma proposição só é uma lei porque, verdadeira hoje, ela ainda será verdadeira amanhã. Dizer de uma lei que ela é provisória, não é enunciar uma contradição? Sim, se se entende por leis aquelas que o senso comum nos revela, aquelas das quais se pode dizer, no sentido próprio da palavra, que são verdadeiras. Essa lei não pode ser verdadeira hoje e falsa amanhã. Não, se se entende por leis as leis que a física enuncia na forma matemática. Tal lei é sempre provisória; não que seja necessário entender por isso que uma lei da física é verdadeira durante um certo tempo e falsa em seguida, pois ela não é em nenhum momento nem verdadeira, nem falsa. Ela é provisória, posto que representa os fatos aos quais se aplica com uma aproximação que os físicos julgam atualmente suficiente, mas que deixará um dia de satisfazê-los.

Observamos que o grau de aproximação de uma experiência não é alguma coisa fixa; ele cresce à medida que os instrumentos tornam-se mais perfeitos, que as causas de erro são mais estritamente evitadas, ou que correções mais precisas permitem uma melhor avaliação. medida que os métodos experimentais progredem, a indeterminação do símbolo abstrato que a experiência física faz corresponder ao fato concreto vai diminuindo. Muitos dos juízos simbólicos que deviam ser vistos, em uma época, como representando bem um fato concreto determinado, não serão mais aceitos em outra época como sinais desse fato. Por exemplo, os astrônomos de um século aceitarão, para representar a posição do sol em um instante dado, todos os valores da ascensão direta, ou todos os valores da inclinação, que não se desviarem em menos de 1", porque seus instrumentos não lhes permitem distinguir entre dois pontos cuja distância angular seja inferior a 1". Os astrônomos do século seguinte terão instrumentos cujo poder ótico será dez vezes maior, exigirão, então, que as diversas determinações da ascensão direta do centro do sol a um instante dado e que as diversas determinações da inclinação não se desviem entre si em mais de 0,1". Uma infinidade de determinações, que contentariam seus predecessores, serão rejeitadas por eles.

À medida que se restringe a indeterminação dos resultados da experiência, a indeterminação das fórmulas que servem para condensar esses resultados vai diminuindo. Um século aceitava, como lei do movimento do sol, todo um grupo de fórmulas que forneciam a cada instante, as coordenadas do centro desse astro com uma aproximação de um segundo; o século subsequente imporá a toda lei do movimento do sol a condição de lhe dar essas coordenadas do centro do sol com uma aproximação de 0,1" Uma

infinidade de leis aceitas pelo primeiro século serão assim rejeitadas pelo segundo.

Toda lei física, sendo uma lei aproximada, está sujeita a um progresso que, aumentando a precisão das experiências, tornará insuficiente o grau de aproximação comportado por essa lei. O físico deve sempre considerá-la como provisória.

Não é somente por ser aproximada que uma lei da física é provisória; mas também por ser uma relação simbólica. Encontram-se sempre casos em que os símbolos aos quais a lei se refere não são capazes de representar a realidade de uma maneira satisfatória.

Para estudar um certo gás, o físico lhe dá uma representação esquemática. Representa-o como um fluido perfeito, que tem uma certa densidade, está submetido a uma certa temperatura e a uma certa pressão. Entre esses três elementos, densidade, temperatura, pressão, ele estabelece uma certa relação: a lei da compressibilidade e da dilatação do gás. Essa lei é definitiva?

Coloquemos esse gás entre as placas de um condensador elétrico fortemente carregado. Determinemos sua densidade, sua temperatura, a pressão que ele suporta. Os valores desses três elementos não verificam mais a lei da compressibilidade e dilatação do gás. O físico surpreender-se-á em ver que sua lei é defeituosa? Colocará em dúvida a fixidez das leis da natureza? Não; ele dirá simplesmente que a relação defeituosa era uma relação simbólica, que ela não se referia ao gás real que ele manipula, mas a um certo gás esquemático definido por sua densidade, sua temperatura e sua pressão; que, sem dúvida, esse esquema era bastante simples, bastante incompleto, para representar as propriedades do gás real colocado nas condições em que se encontra atualmente. Ele procura, então, completar esse esquema, tornando-o mais apto a exprimir a realidade. Ele não se contenta mais em definir o gás simbólico por meio de sua densidade, temperatura e da pressão que ele suporta, mas lhe atribui um poder dielétrico, introduz na representação desse corpo a intensidade do campo elétrico no qual ele está colocado; ele submete esse símbolo mais completo a novos estudos e obtém a lei da compressibilidade do gás dotado de polarização dielétrica. É uma lei mais complicada que a obtida anteriormente. Ela abarca a anterior como um caso particular; porém, mais abrangente, ela será verificada nos casos em que a anterior era imperfeita.

Essa nova lei é definitiva?

Tomemos o gás ao qual ela se aplica, coloquemo-lo entre os pólos de uma eletroimã e encontramos que ela é, por sua vez, desmentida pela experiência. Não creiam que esse novo desmentido surpreende o físico; ele sabe que se trata de uma relação simbólica e que o símbolo que criou, imagem fiel da realidade em certos casos, não lhe será parecido em todas as circunstâncias. Ele retoma, pois, sem desencorajar-se, o esquema do gás que ele experimenta. Para permitir que esse esquema represente os fatos, ele

acrescenta novos traços. Não é mais suficiente que o gás tenha uma densidade, uma temperatura, um poder dielétrico, que ele suporte uma pressão e que seja colocado num campo elétrico de intensidade dada. Ele lhe atribui também um coeficiente de imantação e leva em conta a intensidade do campo magnético em que ele se encontra, e, ligando todos esses elementos através de um conjunto de fórmulas, ele obtém a lei da compressibilidade e da dilatação do gás polarizado e imantado; lei mais complicada, porém mais abrangente que as que ele havia anteriormente obtido. Lei que será verificada numa infinidade de casos em que as outras são desmentidas, e, entretanto, uma lei provisória. O físico prevê que um dia se perceberão condições em que essa lei será imperfeita. Nesse dia, será necessário retomar a representação simbólica do gás e acrescentar-lhe novos elementos. Esse símbolo é como um mecanismo em que a flexibilidade é tanto maior quanto maior o número de peças que o formam; à medida que ele se complica, mais estreitamente se aplica aos fatos. Mas esse mecanismo por mais que se torne minucioso e preciso, permanecerá sempre um simulacro grosseiro e provisório da realidade.

Esse trabalho de contínuo retoque, pelo qual as leis da física evitam os desmentidos da experiência, representa um papel de tal modo essencial no desenvolvimento da física, que nos permitiremos insistir um pouco mais nisso e estudar seu caminho através de um segundo exemplo.

De todas as leis da física, a mais bem verificada por suas inumeráveis consequências é seguramente a lei da atração universal. As observações mais precisas sobre os movimentos dos astros não puderam, até aqui, mostrar que ela é imperfeita. É uma lei definitiva? De modo algum, mas uma lei provisória, que deverá modificar-se e complicar-se para ser colocada em acordo com a experiência.

Suponhamos um recipiente com água. A lei da atração universal nos faz conhecer a força que age sobre cada uma das partículas dessa água. Essa força é o peso da partícula. A mecânica nos indica a figura que a água deve simular: qualquer que seja a forma do recipiente, ela deve terminar num plano horizontal. Vejamos de perto a superfície em que termina essa água; horizontal longe da borda do vaso, ela deixa de sê-lo nas proximidades das paredes do vidro. Ela se eleva ao longo dessas paredes. Num espaço estreito, ela sobe mais alto e se torna completamente côncava. Eis onde a lei da atração universal é imperfeita. Para evitar que os fenômenos capilares desmintam a lei da gravitação, será necessário modificá-la; será necessário considerar a fórmula da razão inversa do quadrado da distância como uma fórmula aproximada; é preciso admitir que essa fórmula faz conhecer com uma precisão suficiente a atração de duas partes materiais distantes, mas que se torna incorreta quando se trata de exprimir a ação de dois elementos mais próximos; é preciso introduzir nas equações um termo complementar que, complicando-os, torna-os aptos a representar uma classe mais extensa de

fenômenos e permitem-lhes abraçar, numa mesma lei, os movimentos dos astros e os efeitos capilares.

Essa lei será mais abrangente que a de Newton, mas não estará, por isso, a salvo de toda contradição. Numa série de casos, as leis da capilaridade estarão em desacordo com as observações. Para fazer desaparecer esse desacordo, será preciso retomar a fórmula das ações capilares, modificá-la e completá-la, levando em conta as cargas elétricas a que se referem as partículas de fluido e das forças que se exercem entre essas partículas eletrizadas. Assim, continuar-se-á indefinidamente essa luta entre a realidade e as leis da física. A toda lei formulada pela física, a experiência oporá o brutal desmentido de um fato; mas, infatigável, a física retocará, modificará, complicará a lei desmentida, para substituí-la por uma lei mais abrangente, em que a exceção levantada pela experiência terá, por sua vez, encontrado a sua regra.

É através dessa luta incessante, desse trabalho que completa as leis, reenquadrando as exceções, que a física progride. É porque um pedaço de âmbar friccionado com lã mostrou serem imperfeitas as leis da gravidade que a física criou as leis da eletrostática; é porque um ímã produz efeitos contrários a essas mesmas leis da gravidade que ela imaginou as leis do magnetismo; é porque Oersted encontrou uma exceção às leis da eletrostática e do magnetismo, que Ampère inventou as leis da eletrodinâmica e do eletromagnetismo. A física não progride como a geometria, que acrescenta novas proposições definitivas e indiscutíveis às proposições definitivas e indiscutíveis que ela possuía antes; ela progride porque, sem cessar, a experiência faz surgir novos desacordos entre a teoria e a realidade, e que, sem cessar, os físicos retocam e modificam a teoria para dar-lhe uma mais perfeita semelhança com a realidade.

4. As leis da física são mais detalhadas que as leis do senso comum

As leis que a experiência não científica nos permite formular são juízos gerais cujo sentido é imediato. Diante de um desses juízos, pode-se perguntar: é verdadeiro? Em geral, a resposta é fácil. A lei reconhecida como verdadeira, é verdadeira em todos os tempos e sem exceção.

As leis científicas fundadas sobre as experiências da física são relações simbólicas cujo sentido permaneceria ininteligível a quem não conhecesse as teorias físicas. Sendo simbólicas, elas nunca são verdadeiras, nem falsas. Como as experiências sobre as quais repousam, elas são aproximadas. A aproximação de uma lei, suficiente hoje, tornar-se-á insuficiente no futuro, em conseqüência do progresso dos métodos experimentais; de sorte que uma lei da física é sempre provisória. Ela é provisória também porque liga não realidades, mas símbolos, e sempre há casos em que o símbolo não

representa mais a realidade. As leis da física só podem, pois, ser mantidas por um trabalho contínuo de retoques e de modificações.

O problema da certeza das leis da física se coloca de uma maneira completamente diferente, de uma maneira mais complicada e mais delicada que o problema da certeza das leis do senso comum. Poder-se-ia pretender extrair a conclusão estranha de que o conhecimento das leis da física constitui um estágio da ciência inferior ao do simples conhecimento das leis do senso comum. aqueles que procuram deduzir das considerações precedentes essa consequência paradoxal, nos contentaremos de responder, repetindo para as leis da física o que dissemos para as experiências científicas: uma lei da física possui uma certeza muito menos imediata e muito mais difícil de apreciar do que uma lei do senso comum; mas ela ultrapassa esta última pela minuciosa precisão dos detalhes.

Se comparamos esta lei do senso comum: em Paris, o sol nasce todos os dias no oriente, eleva-se no céu, depois desce e esconde-se no ocidente; com as fórmulas que, a cada instante, fazem conhecer com a aproximação de um segundo as coordenadas do centro do sol, ficaremos convencidos da exatidão dessa proposição.

É esse cuidado com a minuciosa exatidão e com a análise precisa que distingue a ciência física do senso comum. É esse cuidado que dá a suas leis um caráter provisório e aproximado. Tudo o que acabamos de dizer dessa característica é como se fosse um comentário deste pensamento de Pascal: "A verdade é um ponto tão sutil que nossos instrumentos são muito insensíveis para tocá-la exatamente. Se eles chegam a isso, pisam-lhe a ponta, e apoiam-se em tudo à volta, mais sobre o falso que sobre o verdadeiro".

Se, depois disso, alguém ainda se surpreende de ver o espírito humano, grosseiramente esclarecido sobre os fenômenos naturais pelas leis certamente verdadeiras, solicitar um conhecimento mais detalhado desses mesmos fenômenos por fórmulas que são somente aproximadas e provisórias, eu me contentarei de deixar para suas meditações o seguinte apólogo:

Um botânico pesquisando uma árvore rara, encontra dois camponeses, aos quais solicita esclarecimentos. "Neste bosque, lhe diz um, há uma dessas árvores."—"Tome, lhe diz o outro, o terceiro caminho que encontrar, ande cem passos e estará ao pé mesmo da árvore que procura." O botânico toma o terceiro caminho, anda cem passos, mas não atinge o objeto de suas pesquisas; para chegar ao pé da árvore é preciso ainda cinco passos.

Dos dois esclarecimentos que ele recolheu, o primeiro era verdadeiro, o segundo era falso. Entretanto, qual dos dois camponeses é o que tem mais direito a seu reconhecimento?

CONCLUSÃO

Destas reflexões referentes ao método experimental empregado na física, poder-se-á muito bem deduzir conclusões; eu não quero reter mais que uma.

Destas reflexões referentes ao método experimental empregado na física, poder-se-á muito bem deduzir conclusões; eu não quero reter mais que uma.

Os metafísicos são levados, sobretudo em nossa época, a emprestar as leis da física para usá-las na edificação ou na ruína dos sistemas filosóficos. A fé, um pouco supersticiosa, que professam os homens de nosso tempo no poder e infalibilidade da ciência positiva, a reprovação freqüente e violentamente endereçada aos filósofos de permanecerem afastados das conquistas dessa ciência, tudo contribui para fortificar essa tendência. Evitarei negar que ela seja, no fundo, legítima; mas ela é, seguramente, cheia de perigos para os que a ela se abandonam imprudentemente, e são esses perigos que eu desejo assinalar.

Que o filósofo evite considerar uma lei da física como uma verdade absoluta, compartilhando a certeza das proposições matemáticas das quais ela toma a forma. A física não conhece essas verdades absolutas. Ao tomar a linguagem dos matemáticos, longe de participar de sua infalibilidade, ela não pode enunciar suas leis na linguagem da álgebra e da geometria senão sob a condição de considerá-las como aproximadas.

Que o filósofo não considere jamais uma lei da física como uma verdade inabalável e ilimitada, que permanecerá eternamente verdadeira, que nunca encontra exceções; lei aproximada, com uma aproximação que nos satisfaz, mas que não satisfará mais nossos sucessores, toda lei da física aceita hoje está destinada a ser um dia rejeitada. Lei simbólica, que se aplica não à realidade, mas a um esquema bastante simples, toda lei da física é essencialmente provisória. O número de casos aos quais se aplica é sempre infinitamente pequeno comparado ao número de casos que lhe escapam, incessantemente, ela se modifica e se completa para abarcar os fatos que a desmentem, sem jamais esgotar as exceções.

Que, sobretudo, o filósofo não se esqueça desse caráter simbólico das leis da física. As grandezas que ligam as equações pelas quais essas leis se exprimem são apenas sinais. Para interpretar esses sinais, é preciso uma chave, chave complicada constituída pelas teorias físicas. O filósofo que quiser fazer uso das leis da física deve ter dessas teorias um conhecimento aprofundado. Na falta desse conhecimento, a significação que ele emprestar a essas leis não será mais que um contra-senso.

FÍSICA DO CRENTE

FÍSICA DO CRENTE ¹

1. Introdução

A *Revue de Métaphysique et de Morale* publicou, há pouco mais de um ano, um artigo² onde se encontram expostas e discutidas as opiniões que emiti, em diversas circunstâncias, a respeito das teorias físicas. O autor desse artigo, Abel Rey, deu-se ao trabalho de se informar assiduamente dos menores escritos onde eu tivesse exposto meu pensamento; desse pensamento seguiu, com cuidadosa exatidão, o caminho e traçou para seus leitores uma imagem cuja fidelidade me tocou vivamente; e, certamente, não negarei a Rey os testemunhos de meu reconhecimento pela simpatia com a qual sua inteligência assimilou o que eu havia publicado.

E entretanto (há alguém que não critique o seu próprio retrato, por mais fiel que tenha sido o pintor?), pareceu-me que Rey exigiu mais do que seria justo exigir das premissas que eu havia formulado, que ele extraiu delas conclusões que não estavam nelas todas contidas. É a essas conclusões que eu gostaria de fazer algumas restrições.

Abel Rey termina seu artigo nestes termos:

"Tivemos aqui apenas a intenção de examinar a filosofia científica de Duhem, e não a própria obra científica. Para encontrar e precisar a expressão dessa filosofia..., parece que se pode propor esta fórmula: por sua tendência em direção a uma concepção qualitativa do universo material, por sua desconfiança em face de uma explicação completa desse universo por si mesmo, tal como o sonha o mecanicismo, por sua repugnância, mais afirmada que real, a respeito de um ceticismo científico integral, ela é a filosofia científica de um crente."

Certamente, creio de todo coração nas verdades que Deus nos revelou e que ele nos ensina através de sua Igreja. Jamais dissimulei minha fé, e Aquele de quem eu a tenho guardar-me-á, espero do fundo de meu coração, de jamais me envergonhar dela. Nesse sentido, pode-se dizer que a física que professo é a física de um crente. Mas não é seguramente neste sentido que Rey entendeu a fórmula pela qual caracteriza essa física; o que ele quis dizer é que as crenças do cristão tinham, mais ou menos conscientemente, guiado a

(1) Artigo publicado nos *Annales de Philosophie Chrétienne*, 77o.ano, 4a.série, tomo I, p.44-133, outubro e novembro de 1905.

(2) Abel Rey, "La Philosophie Scientifique de M.Duhem", *Revue de Métaphysique et Morale*, 12o.ano, p.699, julho de 1904.

crítica do físico; que elas tinham inclinado sua razão para certas conclusões; que essas conclusões deviam, pois, parecer suspeitas aos espíritos preocupados com o rigor científico, mas estranhos à filosofia espiritualista ou ao dogma católico; numa palavra, que, para adotar em sua plenitude, em seus princípios como em suas consequências, a doutrina que tentei formular a respeito das teorias físicas, e isso falta de clarividência, seria necessário ser crente.

Se assim fosse, eu ter-me-ia singularmente desviado do meu caminho e falhado em meu objetivo. Constantemente, com efeito, eu me propus a provar que a física procedia por um método autônomo, absolutamente independente de toda opinião metafísica. Analisei minuciosamente esse método a fim de por em evidência, através dessa análise, seus caracteres próprios e o alcance exato das teorias que resumem e classificam suas descobertas. A essas teorias, recusei todo poder de penetrar além dos ensinamentos da experiência, toda capacidade de descobrir as realidades que se escondem sob os dados sensíveis. Por isso, neguei a essas teorias o poder de traçar o plano de qualquer sistema metafísico, como neguei às doutrinas metafísicas o direito de testemunhar a favor ou contra qualquer teoria física. Se todos esses esforços não conduziram senão a uma concepção da física em que a fé religiosa se encontra implicitamente e como que clandestinamente postulada, é necessário confessar que me equivoquei singularmente sobre o fim para o qual tendia minha obra.

Antes de confessar semelhante equívoco, que me seja permitido lançar novamente, sobre essa obra, um olhar de conjunto, demorar particularmente meu olhar sobre as partes onde se acreditou perceber o selo da fé cristã; reconhecer se, contra a minha intenção, esse selo se encontra aí efetivamente impresso; ou se, ao contrário, uma ilusão fácil de dissipar não fez tomar como marca do crente caracteres que não lhe são próprios. Espero que este exame, dissipando as confusões e equívocos, colocará fora de dúvida esta conclusão: o que eu disse do método pelo qual procede a física, da natureza e alcance que é necessário atribuir às teorias que ela constrói, não pressupõe em nada as doutrinas metafísicas nem as crenças religiosas de quem aceita minha opinião. No progresso da ciência física, tal como tentei defini-la, o crente e o incrédulo podem trabalhar de comum acordo.

2. Nosso Sistema Físico é Positivo em suas Origens

Gostaríamos de provar que o sistema da física que propomos está, em todas suas partes, submetido às exigências mais rigorosas do método positivo e que, positivo em suas origens, ele também o é em suas conclusões.

Para começar, quais são as preocupações das quais resulta a constituição desse sistema? Essa concepção da teoria física é a obra de um crente inquietado pela discordância entre os ensinamentos da Igreja e as

lições da razão? Origina-se de um esforço que a fé nas coisas divinas teria tentado para ligar-se às doutrinas da ciência humana (*fides quaerens intellectum*)? Se o for, o descrente poderá conceber a respeito de um tal sistema legítimas suspeitas; poderá temer que alguma proposição orientada para as crenças católicas se tenha insinuado, à revelia do autor, através das malhas cerradas de uma crítica rigorosa; tão pronto está o espírito humano a crer que é verdadeiro aquilo a que aspira! Essas suspeitas, ao contrário, não terão mais razão de ser se o sistema científico que nos ocupa nasceu do próprio seio da experiência, se ele se impôs a seu autor, fora de toda preocupação metafísica ou teológica, e apesar dela, pela prática cotidiana da ciência e do ensino.

Somos, portanto, levados a contar como fomos conduzidos a professor, em relação ao objeto e à estrutura da teoria física, uma opinião que se diz nova. Faremos isso com toda a sinceridade, não que tenhamos a vaidade de acreditar que os passos de nosso pensamento sejam interessantes por si mesmos, mas a fim de que o conhecimento das origens da doutrina permita apreciar mais exatamente seu valor lógico; porque é este valor que está em questão.

Reportemo-nos a aproximadamente vinte e cinco anos atrás, à época em que recebíamos, nas aulas de matemática do Colégio Stanislas, a primeira iniciação em física. Quem nos dava essa iniciação, Jules Moutier, era um teórico engenhoso. Seu senso crítico, muito perspicaz e permanentemente atento, distinguia com grande segurança o ponto fraco de muitos sistemas que outros aceitavam sem contestação. De seu espírito de invenção não faltam provas, e a mecânica química lhe deve uma de suas leis mais importantes. É esse mestre que fez germinar em nós a admiração pela teoria física e o desejo de contribuir para seu progresso. Naturalmente, orientou nossas primeiras tendências no mesmo sentido a que suas próprias preferências o levavam. Ora, ainda que tenha alternadamente apelado, em suas pesquisas, aos mais diversos métodos, era às tentativas de explicações mecanicistas que Moutier se voltava freqüentemente com uma espécie de predileção. Como a maior parte dos teóricos de seu tempo, via em uma explicação do universo material, construída à maneira dos cartesianos e atomistas, o ideal da física. Em um de seus escritos³ não hesitou em fazer seu este pensamento de Huygens: "*Omnium effectuum naturalium causae concipiuntur per rationes mechanicas, nisi velimus omnem spem abjicere aliquid in physicis intelligendi.*"

(3) J.Moutier, "Sur les attractions et les répulsions des corps électrisés au point de vue de la théorie mécanique de l'électricité", *Annales de Chimie et de Physique*, 4a.série, tomo XVI.

Discipulos de Moutier, foi como partidários convictos do mecanicismo que abordamos os estudos de física que eram dados na Escola Normal. Ali acabamos sofrendo influências bem diferentes daquelas que havíamos experimentado até então; o ceticismo trocista de Bertin encontrava todas as condições para escarnecer das tentativas sempre renovadas, sempre abortadas, dos mecanicistas. Sem chegar até o agnosticismo e empirismo de Bertin, a maior parte de nossos professores partilhavam de suas desconfianças a respeito das hipóteses sobre a constituição íntima da matéria; feitos mestres no manejo da experiência, viam nela a única fonte da verdade. Se aceitavam a teoria física, era sob a condição de que ela repousasse inteiramente sobre leis tiradas da observação.

Enquanto físicos e químicos superavam-se na exaltação do método que Newton tinha formulado ao final dos *Principia*, aqueles que nos ensinavam matemática, e sobretudo, entre eles, Jules Tannery, aplicavam-se a desenvolver e a aguçar em nós o senso crítico, a tornar nossa razão infinitamente difícil de ser satisfeita quando tinha que julgar o rigor de uma demonstração.

As tendências que o ensino dos experimentadores tinham produzido em nosso espírito e aquelas que as lições dos matemáticos haviam determinado concorreram para nos fazer conceber o tipo da teoria física de modo completamente diferente do que tínhamos imaginado até então. Essa teoria ideal, fim supremo de nossos esforços, queríamos que estivesse solidamente assentada sobre as leis que a experiência verificou, plenamente isenta daquelas hipóteses sobre a estrutura da matéria que Newton tinha condenado em seu imortal *Scholium Generale*. Mas, ao mesmo tempo, queríamos que fosse construída com aquele rigor lógico que os algebristas nos tinham ensinado a admirar. Esforçamo-nos por conformar nossas lições ao modelo de tal física, quando nos foi dado ensinar.

Foi necessário reconhecer bem cedo a inutilidade de nossos esforços. Tivemos a felicidade de ensinar na Faculdade de Ciências de Lille, perante um auditório de elite. Entre nossos alunos, dos quais muitos são hoje nossos colegas, o senso crítico não adormecia; os pedidos de esclarecimentos, as objeções embaraçosas, não deixavam de nos assinalar os paralogismos e os círculos viciosos que, sempre, apesar de nossos cuidados, reapareciam em nossas lições. Esta rude, mas salutar, prova não tardou a nos convencer que a física não podia ser logicamente construída sob o plano que tínhamos empreendido seguir; que o método indutivo, tal como Newton o definiu, não podia ser praticado; que a própria natureza, que o verdadeiro objeto da teoria física não tinham sido ainda postos em evidência com inteira clareza; que nenhuma doutrina física poderia ser exposta de uma maneira plenamente satisfatória enquanto essa natureza e esse objeto não tivessem sido determinados de maneira exata e detalhada.

Essa necessidade de retomar, até seus fundamentos, a análise do método pelo qual se pode desenvolver a teoria física pareceu-nos

singularmente nítida em uma circunstância da qual guardamos a mais viva lembrança. Pouco satisfeitos com a exposição dos princípios da termodinâmica que tinham encontrado "nos livros e entre os homens", alguns alunos pediram que redigíssemos para eles um pequeno tratado sobre os fundamentos dessa ciência. Enquanto nos esforçávamos para satisfazer esse desejo, a impotência radical dos métodos preconizados até então para construir uma teoria lógica se afirmava para nós mais incontestável a cada dia. Tivemos então a intuição das verdades que, desde então, não temos cessado de afirmar. Compreendemos que a teoria física não é uma explicação metafísica, nem um conjunto de leis gerais de que a experiência e a indução estabeleceram a verdade. Compreendemos que ela é uma construção artificial, fabricada por meio de grandezas matemáticas; que a relação dessas grandezas com as noções abstratas obtidas da experiência é simplesmente aquela dos signos com as coisas significadas; que essa teoria constitui uma espécie de quadro sinótico, de esquema, pronto a resumir e a classificar as leis da observação; que ela pode ser desenvolvida com o mesmo rigor que uma doutrina da álgebra, porque, da mesma maneira que esta, é construída inteiramente por meio de combinações de grandezas que nós mesmos ordenamos à nossa maneira; mas que as exigências do rigor matemático estão fora de lugar quando se trata de comparar a construção teórica com as leis experimentais que ela pretende representar, e de apreciar o grau de semelhança entre a imagem e o objeto, porque essa comparação, essa apreciação não dependem em nada da faculdade pela qual podemos desenvolver uma sequência de silogismos claros e rigorosos; que, para apreciar essa semelhança entre a teoria e os dados da experiência, não é possível dissociar a construção teórica e submeter isoladamente cada uma de suas partes à prova dos fatos, porque a menor verificação experimental põe em jogo os itens mais diversos da teoria; que toda comparação entre a física teórica e a física experimental consiste em uma aproximação da teoria, tomada em sua integridade, ao ensinamento total da experiência.

Foi assim que as necessidades do ensino, por sua pressão urgente e incessante, nos levaram a produzir uma concepção da teoria física muito diferente daquela que tinha sido corrente até então. Essas mesmas necessidades nos conduziram, no curso dos anos, a desenvolver nossos primeiros pensamentos, a precisá-los, a explicá-los e corrigi-los. Foi por isso que nosso sistema a respeito da natureza da teoria física conquistou nossa convicção, graças à facilidade com a qual nos permitiu ligar, em uma exposição coerente, os itens mais diversos da ciência. E que nos seja perdoada a insistência em assinalar a autoridade toda especial que confere a nossos princípios essa prova à qual os submetemos no curso de longos anos. Muitos são hoje aqueles que escrevem a respeito dos princípios da mecânica e da física, mas se lhes propuséssemos dar um curso completo de física que, sempre e em toda parte, concordasse com sua doutrina, quantos deles aceitariam o desafio?

Nossas idéias sobre a natureza da teoria física nasceram, pois, da prática da pesquisa científica e das exigências do ensino. Por mais longe que levássemos nosso exame de consciência intelectual, é impossível reconhecermos uma influência exercida sobre a gênese dessas idéias por qualquer preocupação religiosa. E como poderia ter sido de outro modo? Como poderíamos pensar que nossa fé católica estaria interessada na evolução que sofreriam nossas opiniões de físico? Não tínhamos conhecido cristãos, tão sinceros quanto esclarecidos, que acreditavam firmemente nas explicações mecanicistas do universo material? Não tínhamos conhecido entre eles, quem se mostrava partidário do método indutivo de Newton? Não se impunha a nossos olhos, como aos olhos de todo homem de bom senso, que o objeto e a natureza da teoria física eram coisas estranhas às doutrinas religiosas e sem nenhum contacto com elas? E, aliás, como para melhor marcar até que ponto nossa maneira de ver essas questões se inspirava pouco em nossas crenças, os ataques mais numerosos e mais vivos contra essa maneira de ver não vieram daqueles que professam a mesma fé religiosa que nós?

Nossa interpretação da teoria física é, pois, essencialmente positiva em suas origens. Nada, nas circunstâncias que nos sugeriram essa interpretação, poderia justificar a desconfiança de quem não partilhasse de nossas convicções metafísicas nem de nossas crenças religiosas.

3. Nosso Sistema Físico é Positivo em suas Conclusões

Nossas meditações sobre o sentido e o alcance das teorias físicas foram provocadas por preocupações com que a metafísica e a religião nada tinham a ver. Chegaram a conclusões que não têm nenhuma relação com as doutrinas metafísicas, nem com os dogmas religiosos.

Certamente combatemos sem descanso as teorias físicas que pretendem reduzir o estudo do mundo material à mecânica. Proclamamos que o físico devia admitir em seus sistemas qualidades primeiras. Ora, há doutrinas metafísicas que proclamaram que tudo, no mundo material, se resumia à matéria e ao movimento; há aquelas que proclamaram que toda qualidade era essencialmente complexa, que podia e devia sempre resolver-se em elementos quantitativos. Parece que nossas conclusões se opõem a essas doutrinas; que não se pode admitir nossa maneira de ver sem rejeitar, por isso mesmo, esses sistemas metafísicos; e, portanto, que nossa física, sob sua aparência positiva, seria, apesar de tudo, uma metafísica. E é o que pensa Rey⁴: "Parece, diz ele, que Duhem sucumbiu à tentação comum:

(4) A.Rey, *loc.cit.*, p.733.

ele fez Metafísica. Ele tinha uma idéia em sua cabeça, uma idéia preconcebida sobre o valor e o alcance da ciência, e sobre a natureza do cognoscível."

Se fosse assim, repitamos bem alto, teríamos fracassado completamente na tentativa à qual demos todos os nossos esforços. Não teríamos conseguido definir uma física teórica para cujo progresso positivistas e metafísicos, materialistas e espiritualistas, incrédulos e crentes pudessem trabalhar de comum acordo.

Mas não é assim.

Com a ajuda de métodos essencialmente positivos, esforçamo-nos para distinguir nitidamente o conhecido do desconhecido. Jamais pretendemos traçar uma linha de demarcação entre o cognoscível e o incognoscível. Analisamos os procedimentos com os quais se construíram as teorias físicas e, desta análise, procuramos concluir o sentido exato e o justo alcance das proposições formuladas por essas teorias. Jamais nossa pesquisa a respeito da física nos conduziu seja a afirmar, seja a negar a existência ou legitimidade dos métodos de pesquisa estranhos a esta ciência, e que são apropriados para atingir verdades que ultrapassam seus meios.

Assim, combatemos o mecanicismo; mas em que termos? Colocamos, na base de um raciocínio, a título de axioma, uma proposição que não tenha sido fornecida pelo método do físico? A partir de tais postulados, desenvolvemos uma sequência de deduções da qual a conclusão tem esta forma: o mecanicismo é uma impossibilidade; será certo que não se pode jamais construir uma representação aceitável dos fenômenos físicos por meio de massas e de movimentos submetidos somente às leis da dinâmica? De maneira alguma. O que fizemos⁵ foi submeter a um minucioso exame os sistemas propostos pelas diversas escolas mecanicistas e constatar que nenhum desses sistemas oferecia os caracteres de uma boa e sã teoria física, porque nenhum deles representava, com uma aproximação suficiente, um conjunto extenso de leis experimentais.

Quanto à legitimidade ou ilegitimidade do mecanicismo, considerado em seu próprio princípio, eis como nos expressamos a respeito:

"Para o físico, a hipótese de que todos os fenômenos naturais podem ser explicados mecanicamente não é nem verdadeira, nem falsa; ela não tem para ele nenhum sentido."

"Expliquemos esta proposição que poderia parecer paradoxal."

"Só um critério permite, na física, rejeitar como falso um juízo que não implique contradição lógica: é a constatação de um desacordo flagrante entre

(5) Rogamos ao leitor que se remeta à primeira parte de nosso livro *L'Évolution de la Mécanique*, intitulada *Les explications mécaniques*, particularmente ao cap.XV: *Considerations générales sur les explications mécaniques*.

esse juízo e os fatos da experiência. Quando um físico afirma a verdade de uma proposição, afirma que essa proposição foi comparada com os dados da experiência; que, entre esses dados, existiam aqueles cujo acordo com a proposição submetida a teste não era necessário *a priori*; que, no entanto, entre esses dados e essa proposição, os desvios permaneceram inferiores aos erros da experiência."

"Em virtude desses princípios, não se enuncia uma proposição que a física possa considerar como errônea, quando se assevera que todos os fenômenos do mundo inorgânico podem ser explicados mecanicamente, pois a experiência não saberia fazer-nos conhecer nenhum fenômeno que fosse seguramente irreduzível às leis da mecânica. Mas também não é legítimo dizer que essa proposição é fisicamente verdadeira; pois a impossibilidade de encurralá-la em uma contradição, formal e insolúvel, com os resultados da observação é uma consequência lógica da indeterminação absoluta em que se deixam as massas invisíveis e os movimentos ocultos."

"Assim, para quem se atém aos procedimentos do método experimental, é impossível declarar verdadeira esta proposição: *todos os fenômenos físicos são explicados mecanicamente*. É igualmente impossível declará-la falsa. *Esta proposição é transcendente ao método físico*."

Afirmar, então, que todos os fenômenos do mundo inorgânico são redutíveis à matéria e ao movimento é fazer metafísica. Negar que essa redução seja possível, ainda é fazer metafísica. Mas nossa crítica da teoria física evitou tanto essa afirmação como essa negação. O que ela afirmou e provou é que não existia *atualmente* nenhuma teoria física aceitável que estivesse de acordo com as exigências do mecanicismo; é que era *atualmente* possível, recusando submeter-se a essas exigências, construir uma teoria satisfatória; mas formulando essas afirmações, fizemos o trabalho do físico, e não do metafísico.

Para construir essa teoria física, não reduzida ao mecanicismo, tivemos que fazer corresponder certas grandezas matemáticas e certas qualidades e, entre essas qualidades, há aquelas que não decomposemos em qualidades mais simples, que tratamos como *qualidades primárias*. É em virtude de um critério metafísico que consideramos certa qualidade como uma qualidade primária? Tínhamos algum meio de reconhecer *a priori* se ela era ou não redutível a qualidades mais simples? De maneira alguma. Tudo que afirmamos a respeito de tal qualidade é o que os procedimentos próprios à física nos podiam ensinar. Afirmamos que não sabíamos *atualmente*

decompô-la, mas não que fosse absurdo procurar sua solução em elementos mais simples:

"A física", dissemos⁶, "reduzirá a teoria dos fenômenos que a natureza inanimada apresenta à consideração de um certo número de qualidades; mas esse número, ela procurará torná-lo tão pequeno quanto possível. Cada vez que um efeito novo se apresentar, ela tentará de todas as maneiras referi-lo às qualidades já definidas. Somente após ter reconhecido a impossibilidade dessa redução, ela se resignará a colocar nas suas teorias uma qualidade nova, a introduzir em suas equações uma nova espécie de variáveis. Assim, o químico que descobre um corpo novo se esforça para decompô-lo em alguns elementos já conhecidos. Somente após ter esgotado em vão todos os meios de análise de que dispõem os laboratórios, ele se decide a acrescentar um nome à lista dos corpos simples."

"Não se atribui a uma substância química o nome de *simples* em virtude de um raciocínio metafísico que prove ser ela indecomponível por natureza. O nome lhe é dado em virtude de um fato, por ter ela resistido a todas as tentativas de decomposição. Este epíteto é um testemunho de impotência; não tem nada de definitivo e irrevogável. Um corpo, simples hoje, cessará de sê-lo amanhã se algum químico, mais feliz que seus antecessores, chegar a dissociá-lo. O potássio e a soda, corpos simples para Lavoisier, tornaram-se corpos compostos a partir dos trabalhos de Davy. Do mesmo modo, há qualidades primárias que admitimos em física. Nomeando-as primárias, não presumimos que sejam irredutíveis por natureza. Confessamos simplesmente que não sabemos reduzi-las a qualidades mais simples; mas essa redução, que não podemos efetuar hoje, será talvez amanhã um fato consumado."

Rejeitando, pois, as teorias mecânicas e propondo em seu lugar uma teoria qualitativa, não fomos de maneira alguma guiados por "uma idéia preconcebida sobre o valor e o alcance da ciência e sobre a natureza do cognoscível" Não fizemos nenhum apelo, consciente ou inconsciente, ao método metafísico. Fizemos uso exclusivo dos procedimentos próprios do físico. Condenamos as teorias que não concordavam com as leis da observação. Preconizamos aquela que fornecia uma representação satisfatória dessas leis; em resumo, respeitamos escrupulosamente as regras da ciência positiva.

(6) *L'Évolution de la Mécanique*, 2a.parte, capítulo 1: **La Physique de la Qualité**. Cf. *La Théorie Physique, son Objet et sa Structure*, 2a.parte, capítulo II: **Les Qualités Premières**.

4. Nosso Sistema Elimina as supostas Objeções da Ciência Física contra a Metafísica Espiritualista e contra a Fé Católica

Conduzida pelo método positivo, tal como o pratica o físico, nossa interpretação do sentido e do alcance das teorias não sofreu nenhuma influência nem de opiniões metafísicas, nem de crenças religiosas. De maneira alguma esta interpretação é a filosofia científica de um crente. O incrédulo pode admitir todos os seus termos.

Resulta disso que o crente não tenha de modo algum que levar em consideração essa crítica da ciência física, que os resultados aos quais ela conduz não tenham para ele nenhum interesse?

É moda, há algum tempo, opor as grandes teorias da física às doutrinas fundamentais sobre as quais repousam a filosofia espiritualista e a fé católica. Espera-se ver estas doutrinas desabarem sob os golpes de aríete dos sistemas científicos. Seguramente, essas lutas da ciência contra a fé apaixonam sobretudo aqueles que conhecem muito mal os ensinamentos da ciência e absolutamente nada dos dogmas da fé. Contudo, preocupam e inquietam às vezes homens que, pela inteligência e pela consciência, superam em muito os doutores de aldeia e os físicos de botequim.

Ora, o sistema que expusemos fez desaparecer as pretensas objeções que a teoria física dirigiria contra a metafísica espiritualista e o dogma católico. Fez com que desaparecessem tão facilmente quanto o vento varre a palha, porque, segundo esse sistema, aquelas objeções não são e não podem jamais ser mais que mal-entendidos.

Que é uma proposição metafísica; que é um dogma religioso? É um juízo que trata de uma realidade objetiva, que afirma ou nega que tal ser real possui ou não tal atributo. Estes juízos: o homem é livre, a alma é imortal, o papa é infalível em matéria de fé, são proposições metafísicas ou dogmas religiosos. Todos eles afirmam que certas realidades objetivas possuem certos atributos.

Que será necessário para que possa haver acordo ou desacordo entre um certo juízo, por um lado, e uma proposição metafísica ou teológica, por outro? Será preciso necessariamente que esse juízo tenha por objeto certas realidades objetivas, das quais ele afirme ou negue certos atributos. Com efeito, entre dois juízos que não têm os mesmos termos, que não tratam dos mesmos objetos, não poderia haver nem acordo nem desacordo.

Os fatos da experiência – no sentido corrente das palavras, e não no sentido complexo que essas mesmas palavras tomam na física – e as leis experimentais – penso nas leis da experiência vulgar que o senso comum formula sem nenhum recurso às teorias científicas – são outras tantas afirmações que tratam das realidades objetivas. Pode-se, pois, com razão,

falar de acordo ou desacordo entre um fato da experiência ou uma lei da experiência, por um lado, e uma proposição metafísica ou teológica, por outro. Se, por exemplo, se constatasse um caso em que um papa, colocado nas condições previstas pelo dogma da infalibilidade, desse um ensinamento contrário à fé, estar-se-ia na presença de um fato que contradiria um dogma religioso. Se a experiência conduzisse a formular esta lei: os atos humanos são sempre determinados, tratar-se-ia de uma lei experimental que negaria uma proposição metafísica.

Isto posto, um princípio da física teórica pode estar em acordo ou desacordo com uma proposição metafísica ou teológica? Um princípio da física teórica é um juízo concernente a alguma realidade objetiva?

Sim, para o cartesiano, para o atomista, para quem quer que faça da física teórica uma dependência, um corolário da metafísica, um princípio da física teórica é um juízo que trata de uma realidade. Quando o cartesiano afirma que a essência da matéria é a extensão em comprimento, largura e profundidade, quando o atomista declara que um átomo se move com um movimento retilíneo e uniforme enquanto não se choca com outro átomo, o cartesiano e o atomista pretendem afirmar que a matéria é objetivamente tal como eles dizem que é, que possui realmente as propriedades que eles lhe atribuem, que ela está verdadeiramente privada das qualidades que eles lhe recusam. Por isso não é insensato perguntar-se se tal princípio da física cartesiana ou da física atomista está ou não em desacordo com tal proposição da metafísica ou do dogma. Pode-se razoavelmente duvidar que a lei imposta pelo atomista ao movimento dos átomos seja compatível com a ação que a alma exerce sobre o corpo. Pode-se sustentar que a essência da matéria cartesiana é inconciliável com o dogma da presença real do corpo de Jesus Cristo sob as espécies eucarísticas.

Sim, um princípio da física teórica é um juízo concernente à realidade objetiva também para o newtoniano, para aquele que vê em tal princípio uma lei experimental generalizada pela indução. Este, por exemplo, verá, nas equações fundamentais da dinâmica, uma regra universal, da qual a experiência revelou a verdade, e à qual estão submetidos todos os movimentos dos corpos objetivamente existentes. Poderá, sem paralogismo, falar de conflito entre as equações da dinâmica e a possibilidade do livre arbítrio, e examinar se esse conflito é solúvel ou insolúvel.

Assim, os paladinos das escolas da física que combatemos podem legitimamente falar de acordo e desacordo entre os princípios da teoria física e as doutrinas da metafísica ou da religião. Não acontecerá o mesmo com aqueles cuja razão tenha aceitado a interpretação de teoria física que propusemos. Estes não falarão jamais de conflito entre os princípios da teoria física e as doutrinas metafísicas e religiosas. Terão compreendido, com efeito, que as doutrinas metafísicas e religiosas são juízos concernentes à realidade objetiva, ao passo que os princípios da teoria física são proposições relativas a certos signos matemáticos desligados de toda experiência objetiva.

Não tendo nenhum termo comum, estas duas espécies de juízos não podem nem estar de acordo, nem se contradizerem.

Que é, com efeito, um princípio da física teórica? É uma forma matemática própria para resumir e para classificar leis constatadas pela experiência. Por si mesmo, este princípio não é nem verdadeiro nem falso. Ele fornece simplesmente uma imagem mais ou menos satisfatória das leis que pretende representar. Essas leis são afirmações concernentes à realidade objetiva, e podem, pois, estar de acordo ou se encontrar em desacordo com certa proposição da metafísica ou da teologia. Mas a classificação sistemática que lhe dá a teoria não acrescenta nada, nem subtrai nada, quanto à sua verdade, sua certeza, seu alcance objetivo. A intervenção do princípio teórico que as resume e ordena não pode nem destruir o acordo entre essas leis e as doutrinas metafísicas e religiosas, se esse acordo existia antes da intervenção desse princípio, nem restabelecer esse acordo, se ele não existia antes. *Por si mesmo e por essência, todo princípio da física teórica é inútil nas discussões metafísicas ou teológicas.*

Apliquemos estas considerações gerais a um exemplo:

O princípio de conservação da energia é compatível com o livre arbítrio? Eis uma questão freqüentemente debatida e resolvida em sentidos diferentes. Ora, teria ela sequer uma significação, de modo que um homem consciente do exato valor dos termos que emprega pudesse razoavelmente pensar em responder seja com um sim, seja com um não?

Certamente, essa questão tem um sentido para aqueles que fazem do princípio de conservação da energia um axioma aplicável com todo rigor ao universo real, seja porque extraem esse axioma de uma filosofia da natureza, seja porque a ele chegam a partir de dados experimentais, por meio de uma ampla e pujante indução. Mas não nos colocamos nem entre estes, nem entre aqueles. Para nós, o princípio de conservação da energia não é de modo algum uma afirmação certa e geral concernente a objetos realmente existentes. É uma fórmula matemática estabelecida por um livre decreto de nosso entendimento, a fim de que essa fórmula, combinada com outras fórmulas postuladas de maneira análoga, permita-nos deduzir uma série de conseqüências, e que essas conseqüências nos forneçam uma representação satisfatória das leis constatadas em nossos laboratórios. Não se pode propriamente dizer que essa fórmula da conservação da energia, nem que as fórmulas que lhe associamos, são verdadeiras ou falsas, pois não são juízos que tratam da realidade. Tudo o que se pode dizer é que a teoria composta por seu conjunto é boa, se seus corolários representam, com uma aproximação suficiente, as leis que nos propomos a classificar, e que, em caso contrário, essa teoria é inadequada. Fica claro, portanto, que esta questão: "A lei de conservação da energia é ou não compatível com o livre arbítrio?" não pode ter para nós nenhum sentido. Se, com efeito, ela tivesse sentido, seria o seguinte: a impossibilidade objetiva dos atos livres é ou não

conseqüência do princípio de conservação da energia? Ora, o princípio de conservação da energia não tem nenhuma conseqüência objetiva.

Por outro lado, insistamos.

Como se faria para extrair do princípio de conservação da energia, e de outros princípios análogos, este corolário: o livre arbítrio é impossível? Observar-se-ia que esses diversos princípios equivalem a um sistema de equações diferenciais que regulam as mudanças de estado dos corpos a ele submetidos. Observar-se-ia que sendo dados, num certo instante, o estado e o movimento desses corpos, esse estado e movimento seriam em seguida determinados sem ambigüidade por todo o curso do tempo. Concluir-se-ia que nenhum movimento livre poderia produzir-se entre esses corpos, pois o movimento livre seria, por essência, um movimento não determinado pelos estados e movimentos anteriores.

Ora, o que vale um tal raciocínio?

Nossas equações diferenciais ou, o que dá no mesmo, os princípios que elas traduzem, foram escolhidos porque queríamos construir uma representação matemática de um conjunto de fenômenos. Ao procurar representar esses fenômenos por meio de um sistema de equações diferenciais, supúnhamos, à primeira vista, que estavam submetidos a um determinismo rigoroso. Sabíamos, com efeito, que um fenômeno, cujas menores particularidades não resultassem dos dados iniciais, resistiria a toda representação por um tal sistema de equações. Tínhamos, pois, certeza, de antemão, de que, na classificação que combinávamos, nenhum lugar estava reservado aos atos livres. Se constatamos, depois disso, que um ato livre não poderia estar compreendido em nossa classificação, seríamos muito ingênuos em ficar espantados e muito insensatos em concluir que o livre arbítrio é impossível.

Imagine-se que um colecionador queira ordenar conchas. Ele toma sete compartimentos, que marca com as sete cores do espectro, e coloca as conchas vermelhas no compartimento vermelho, as conchas amarelas no compartimento amarelo, etc. Mas se uma concha branca se apresenta, ele não saberá o que fazer, porque não tem um compartimento branco. Teremos certamente muita pena de sua razão, se o ouvirmos concluir embaraçadamente pela não existência de conchas brancas no mundo.

A mesma pena merece o físico que, de seus princípios teóricos, crê poder deduzir a impossibilidade do livre arbítrio. Fabricando uma classificação para todos os fenômenos que se produzem neste mundo, esqueceu o compartimento dos atos livres.

5. Nosso Sistema nega à Teoria Física qualquer Valor Metafísico ou Apologético

Esta física é a física do crente, dirão, pois ela nega tão radicalmente todo valor às objeções tiradas da teoria contra a metafísica espiritualista e contra a fé católica! Mas, com toda justiça, física do incrédulo, porque ela não faz menor justiça, nem menos rigorosa, aos argumentos que se tentaria deduzir da teoria em favor da metafísica ou do dogma. É absurdo pretender que um princípio da física teórica contradiga uma proposição formulada pela filosofia espiritualista ou pela doutrina católica. Não é menos absurdo pretender que ela confirme uma tal proposição. Não poderia haver desacordo, nem acordo, entre uma proposição que é um juízo concernente a uma realidade objetiva e uma outra proposição que não tenha alcance objetivo. Todas as vezes que se citar um princípio da física teórica em apoio a uma doutrina metafísica ou a um dogma religioso, comete-se um erro; atribui-se a esse princípio um sentido que não é o seu, um valor que não lhe pertence.

Esclareçamos ainda o que acabamos de dizer através de um exemplo.

Na metade do século passado, Clausius, depois de ter transformado profundamente o princípio de Carnot, dele extraiu este célebre corolário: a entropia do universo tende a um máximo. Deste teorema, muitos filósofos pretenderam concluir pela impossibilidade de um mundo onde, eternamente, se produziriam modificações físicas e químicas. Em sua opinião essas modificações tinham tido um começo, elas teriam um fim. A criação no tempo, senão da matéria, pelo menos de sua aptidão para a mudança, e o estabelecimento, num futuro mais ou menos longínquo, de um estado de repouso absoluto e de morte universal eram, para esses pensadores, consequências forçosas dos princípios da termodinâmica.

A dedução pela qual se pretendia passar das premissas para essas conclusões é, em muitos lugares, rompida pelo ilogismo. Logo de início, supõe implicitamente a assimilação do universo a um conjunto limitado de corpos, isolado num espaço absolutamente vazio de matéria; e esta assimilação dá ocasião a muitas dúvidas. Admitida essa assimilação, é verdade que a termodinâmica afirma que a entropia do universo deve crescer sem cessar, mas não impõe a essa entropia nenhum limite inferior, nem superior. Nada se oporia, pois, a que essa grandeza variasse de $-\infty$ a $+\infty$, enquanto o tempo variasse ele mesmo de $-\infty$ a $+\infty$. Desapareceria então a impossibilidade que se acreditava demonstrada, de uma vida eterna no universo. Mas quanto a essas diversas críticas, sejamos honestos. Elas provam que a demonstração tomada como exemplo não é concludente. Não provam a impossibilidade radical de construir uma demonstração concludente que tendesse a um fim análogo. A objeção que lhe opoemos é de outra natureza e alcance. Extraída da própria essência da teoria física, ela nos mostrará que é absurdo questionar essa teoria a respeito dos acontecimentos que puderam

produzir-se em um passado extremamente remoto, absurdo exigir dela predições a muito longo prazo.

Que é uma teoria física? Um conjunto de proposições matemáticas cujas consequências devem representar os dados da experiência. O valor de uma teoria se mede pelo número de leis experimentais que ela representa e pelo grau de precisão com o qual as representa. Se duas teorias diferentes representam os mesmos fatos com a mesma aproximação, o método físico as considera como tendo absolutamente o mesmo valor. Entre essas duas teorias equivalentes, ele não tem o direito de ditar nossa escolha, é obrigado a deixá-la livre. Sem dúvida, entre essas duas teorias logicamente equivalentes, o físico escolherá; mas os motivos que ditarão sua escolha serão considerações de elegância, de simplicidade, de comodidade, e razões de conveniência essencialmente subjetivas, contingentes, variáveis com o tempo, as escolas, as pessoas. Por mais graves que esses motivos possam ser em certos casos, jamais serão de tal natureza que a adesão a uma das teorias, a rejeição da outra, resultem necessariamente. Somente a descoberta de um fato que uma das teorias representasse, e não outra, teria por consequência uma opção forçada.

Assim, a lei da atração na razão inversa do quadrado da distância, proposta por Newton, representa com admirável precisão todos os movimentos celestes que podemos observar. Mas o inverso do quadrado da distância poderia ser substituído de uma infinidade de maneiras por alguma outra função da distância, de tal modo que a nova mecânica celeste representasse todas as nossas observações astronômicas com a mesma precisão que a antiga. Os princípios do método experimental nos obrigam a atribuir a essas duas mecânicas celestes diferentes exatamente o mesmo valor lógico. Isso não quer dizer que os astrônomos não manteriam a lei newtoniana da atração, preferindo-a à nova lei; mas a manteriam devido às propriedades matemáticas excepcionais apresentadas pelo inverso do quadrado da distância, em benefício da simplicidade e elegância que essas propriedades introduzem em seus cálculos. Esses motivos estariam certamente entre os que vale seguir; todavia, não teriam nada de decisivo nem de definitivo. Não teriam nenhum peso no dia em que se descobrisse um fenômeno que a lei newtoniana da atração fosse inapta para representar e do qual outra mecânica celeste fornecesse uma imagem satisfatória. Nesse dia, os astrônomos seriam obrigados a preferir a nova teoria à antiga⁷

Compreendido isso, suponhamos ter duas mecânicas celestes diferentes do ponto de vista matemático, mas que representem com igual

(7) Na verdade, foi o que fizeram quando, pela introdução do termo de atração molecular, complicaram a fórmula da atração newtoniana a fim de poder representar as leis da capilaridade.

aproximação todas as observações astronômicas feitas até aqui. Vamos mais longe; sirvamo-nos dessas duas mecânicas celestes para calcular os movimentos dos astros no futuro. Suponhamos que os resultados de um dos cálculos sejam de tal modo próximos daqueles da outra que o desvio entre as duas posições que eles atribuem a um mesmo astro seja inferior aos erros da experiência, mesmo ao fim de mil anos, mesmo ao fim de dez mil anos. Eis duas mecânicas celestes que somos obrigados a considerar como logicamente equivalentes. Não existe razão alguma que nos obrigue a preferir uma à outra; e, ainda mais, daqui a mil ou dez mil anos, os homens ainda deverão equipará-las e suspender sua escolha.

É claro que as predições dessas duas teorias merecem igual confiança. É claro que a lógica não nos dá nenhum direito de afirmar que as predições da primeira serão conformes à realidade e não aquelas da segunda, ou inversamente.

Essas predições, na verdade, concordam perfeitamente por um lapso de tempo de mil anos, de dez mil anos. Mas os matemáticos nos advertem que seria muito temerário concluir que esse acordo durará para sempre; e, através de exemplos palpáveis, eles nos mostram os erros a que essa extrapolação ilegítima poderia conduzir-nos⁸. As predições de nossas duas mecânicas celestes poderiam ser singularmente discordantes se pedíssemos a essas duas teorias para descrever o estado do céu em dez milhões de anos. Uma delas poderia afirmar que os planetas, naquela época, ainda descreverão órbitas pouco diferentes daquelas que descrevem atualmente; a outra, ao contrário, poderia muito bem pretender que todos os corpos do sistema solar estarão reunidos numa massa única⁹ ou que se encontrarão dispersos no espaço a distâncias enormes entre si. Dessas duas profecias das quais uma proclama a estabilidade do sistema solar e a outra afirma a instabilidade, em qual acreditaremos? Naquela, sem dúvida, que concordar melhor com nossas preocupações e prevenções extra-científicas; mas, certamente, a lógica das ciências físicas não fornecerá nenhum argumento

(8) Ver a esse respeito, no nosso estudo intitulado *La Théorie Physique, son Objet et sa Structure*, o capítulo III da segunda parte e, particularmente, a seção III desse capítulo.

(9) Assim, as trajetórias dos planetas sob a ação simultânea da atração newtoniana e da atração capilar poderiam muito bem, durante dez mil anos, não diferir de maneira apreciável das trajetórias dos mesmos astros submetidos somente à atração newtoniana; e, todavia, poder-se-ia, sem cair no absurdo, supor que os efeitos da atração capilar, acumulados durante cem milhões de anos, desviassem sensivelmente um planeta do caminho que a atração newtoniana, isoladamente, fez com que ele seguisse.

plenamente convincente para defender nossa escolha contra quem a atacasse e para impô-la a nosso adversário.

Assim ocorreu com todas as predições a longo prazo. Possuímos uma termodinâmica que representa muito bem um conglomerado de leis experimentais, e que nos afirma que a entropia de um sistema isolado cresce eternamente. Poderíamos, sem esforço, construir uma termodinâmica nova que, tão bem quanto a antiga, representasse as leis experimentais conhecidas até aqui e cujas previsões, durante dez mil anos, se mantivessem de acordo com aquelas da termodinâmica antiga. No entanto, essa nova termodinâmica poderia afirmar que a entropia do universo, após ter crescido durante cem milhões de anos, decrescerá durante um novo período de cem milhões de anos, para crescer de novo, numa alternância eterna.

Por sua própria essência, a ciência experimental é incapaz de predizer o fim do mundo ou de afirmar sua perpétua atividade. Somente um equívoco grosseiro quanto a seu alcance poderia exigir dela a prova de um dogma que afirme nossa fé.

6. O Metafísico deve conhecer a Teoria Física a fim de não fazer dela, em suas Especulações, um Uso Ilegítimo

Eis, portanto, uma física teórica que não é nem uma teoria do crente, nem uma teoria do incrédulo, mas, pura e simplesmente, uma teoria do físico. Admiravelmente apropriada para classificar as leis que o experimentador estuda, ela é incapaz de se opor a qualquer afirmação da metafísica ou do dogma religioso. Ela é igualmente incapaz de dar apoio eficaz a semelhante afirmação. Quando o teórico penetra no território da metafísica ou do dogma, seja porque se proponha a atacá-los, seja porque deseja defendê-los, a arma que usa vitoriosamente em seu próprio domínio fica, em suas mãos, inútil e sem força. A lógica da ciência positiva, que forjou essa arma, marcou com precisão as fronteiras além das quais a têmpera que lhe deu se abrandará, além das quais seu gume se embotará.

Mas do fato de que uma lógica sadia não confere à teoria física nenhum poder para confirmar ou infirmar uma proposição metafísica, resulta que o metafísico tenha o direito de fazer pouco caso das teorias da física? Resulta que ele possa prosseguir na construção de seu sistema cosmológico sem preocupar-se com o conjunto de fórmulas matemáticas através das quais o físico chega a figurar e a classificar o conjunto das leis experimentais? Não acreditamos nisso. Tentaremos mostrar que existe um elo entre a teoria física e a filosofia da natureza; tentaremos precisar em que consiste esse elo.

Inicialmente, a fim de evitar todo mal-entendido, façamos uma observação. Esta questão: "O metafísico tem ou não que levar em consideração as palavras do físico" não se coloca em absoluto senão a respeito das teorias da física. A respeito dos fatos da experiência e das leis

experimentais, a questão não tem que ser levantada, porque a resposta não poderia ser duvidosa; é claro que o filósofo da natureza deve levar em consideração esses fatos, essas leis.

Com efeito, as proposições que enunciam esses fatos, que formulam essas leis, têm o que não possuem as proposições puramente teóricas, a saber, um alcance objetivo. Elas podem, pois, estar em acordo ou em desacordo com as proposições que compõem um sistema cosmológico. O autor desse sistema não tem o direito de ser indiferente a esse acordo, que confere a suas intuições uma confirmação preciosa, ou a esse desacordo, que é, para suas doutrinas, uma condenação sem apelo.

Em geral, a apreciação desse acordo ou desacordo é fácil, quando os fatos considerados são fatos da experiência vulgar, quando as leis visadas são leis do senso comum¹⁰, porque não é necessário ser físico de profissão para entender o que existe de objetivo em tal fato, em tal lei.

Essa apreciação torna-se, ao contrário, infinitamente delicada e espinhosa quando se trata de um fato ou de uma lei científica. Com efeito, a proposição que formula esse fato ou essa lei é, em geral, uma mistura íntima de constatação experimental, dotada de um alcance objetivo, e de interpretação teórica, simples símbolo desligado de todo sentido objetivo. Será preciso que o metafísico dissocie essa mistura, a fim de obter, tão puro quanto possível, o primeiro dos dois elementos que a compõem: nele, com efeito, e somente nele, seu sistema pode encontrar uma confirmação ou chocar-se com uma contradição.

Suponhamos, por exemplo, que se trate de uma experiência sobre os fenômenos da interferência ótica. O relato de tal experiência contém afirmações que tratam certamente dos caracteres objetivos da luz, por exemplo, uma afirmação de que uma iluminação que parece constante é, na realidade, a manifestação de uma propriedade que varia muito rapidamente de um instante a outro de maneira periódica. Mas essas afirmações estão, devido à própria linguagem que serve para formulá-las, intimamente penetradas por hipóteses ligadas à teoria ótica. Para enunciar-las, o físico fala das vibrações de um éter elástico ou da polarização alternativa de um éter dielétrico. Ora, não mais às vibrações do éter elástico que à polarização do éter dielétrico, é necessário atribuir de roldão uma realidade objetiva plena e completa. São, com efeito, construções simbólicas imaginadas pela teoria para resumir e classificar as leis experimentais da ótica.

Eis aqui uma primeira razão para que o metafísico não negligencie o estudo das teorias físicas. É preciso que ele conheça a teoria física a fim de que possa, no relato de uma experiência, distinguir o que provém dessa

(10) Ver, a esse propósito, *La Théorie Physique, son Objet et sa Structure*, 2a. parte, capítulos IV e V.

teoria e não tem senão o valor de um meio de representação ou de um signo, daquilo que forma o conteúdo real, a matéria objetiva do fato da experiência.

Não imaginemos, entretanto, que um conhecimento totalmente superficial da teoria fosse suficiente para esse objetivo. Muito freqüentemente, no relato de uma experiência da física, a matéria, real e objetiva, e a forma, puramente teórica e simbólica, se integram de uma maneira tão íntima e tão complicada que o espírito geométrico, com seus procedimentos claros, rigorosos, mas demasiadamente simples e pouco flexíveis para serem muito penetrantes, não pode ser suficiente para separá-los. São necessários os passos insinuantes e sutis do espírito de *finesse*. Somente ele, insinuando-se entre aquela matéria e forma, pode distingui-las. Somente ele pode descobrir que esta é uma construção artificial, criada em todas suas partes pela teoria e sem uso para o metafísico, enquanto que aquela, rica de verdade objetiva, é apropriada para instruir o cosmólogo.

Ora, o espírito de *finesse*, aqui como em toda parte, aliás, se aguça por uma longa prática. É através de um estudo profundo e minucioso da teoria que se obterá aquela espécie de perspicácia à qual, em uma experiência da física, se discerne o que é símbolo teórico, graças ao qual se poderá separar daquela forma, sem valor filosófico, o verdadeiro ensinamento da experiência, aquele que o filósofo deve levar em consideração.

Assim, é preciso que o metafísico tenha um conhecimento bastante preciso da teoria física a fim de reconhecê-la sem erro, quando ela transpõe os limites de seu próprio domínio e pretende penetrar no território da cosmologia. Em nome desse conhecimento exato, terá o direito de fazer parar a teoria, de lembrar-lhe que não poderá tirar proveito de sua ajuda nem temer suas objeções. O metafísico deve fazer um estudo aprofundado da teoria física, se quiser estar certo de que ela não exercerá nenhuma influência ilógica em suas especulações.

7. A Teoria Física tem como Forma Limite a Classificação Natural

Por outras razões ainda, e mais graves, os ensinamentos da teoria física se impõem à atenção do metafísico.

Nenhum método científico traz consigo sua plena e inteira justificação. Ele não poderia, unicamente por seus princípios, dar conta de todos esses princípios. Não se deve, pois, ficar surpreso de que a física teórica repouse sobre postulados que não podem ser autorizados senão por razões estranhas à física.

Entre eles está o seguinte postulado:

A teoria física deve esforçar-se para representar todo o conjunto das leis naturais através de um sistema único, do qual todas as partes sejam logicamente compatíveis entre si.

Se nos restringirmos a invocar apenas razões da lógica pura, dessa lógica que permite fixar o objeto e a estrutura da teoria física, é impossível justificar esse postulado¹¹. É impossível condenar um físico que pretendesse representar através de várias teorias, logicamente incompatíveis, seja conjuntos diversos de leis experimentais, seja até mesmo um grupo único de leis. Tudo que se pode exigir dele é que não misture duas teorias inconciliáveis, não combine, em suas deduções, uma premissa maior extraída de uma dessas teorias com uma premissa menor fornecida pela outra.

É a esta conclusão, ao direito que tem o físico de desenvolver uma teoria logicamente incoerente, que chegam aqueles que analisam o método físico sem recorrer a nenhum princípio estranho a esse método. Para eles, as representações da teoria não são mais que resumos cômodos, artifícios destinados a facilitar o trabalho de invenção. Por que se interditaria ao trabalhador o emprego sucessivo de instrumentos disparatados, se ele acha que cada um deles se adapta bem a certa tarefa e mal a outra?

Essa conclusão, no entanto, escandaliza grande número daqueles que se esforçam pelo progresso da física. Existem aqueles que querem ver, nesse desdém da unidade teórica, um preconceito do crente, desejo de exaltar o dogma às expensas da ciência; e, em apoio a essa opinião, observa-se que a brilhante plêiade de filósofos cristãos que se agrupam em torno de Edouard Le Roy tomam de bom grado as teorias físicas como simples receitas. Raciocinando assim, esquecem que Henri Poincaré foi o primeiro a proclamar e a ensinar de maneira formal que o físico podia usar sucessivamente teorias, incompatíveis entre si, no número que julgasse necessário; e não sei se Henri Poincaré compartilha das crenças religiosas de Édouard Le Roy.

É certo que Henri Poincaré, do mesmo modo que Édouard Le Roy, estava plenamente autorizado pela análise lógica do método físico a pretender o que propôs. Não é menos certo que essa doutrina de procedimento cético escandaliza a maior parte daqueles que trabalham pelo progresso da física. Ainda que o estudo puramente lógico dos procedimentos que eles empregam não lhes forneça nenhum argumento convincente em apoio à sua maneira de ver, eles sentem que essa maneira de ver é a boa. Têm a intuição de que a unidade lógica se impõe à teoria física como um ideal ao qual ela deve tender sem cessar. Sentem que todo ilogismo, toda incoerência é, nessa teoria, uma tara; e que os progressos da ciência devem, pouco a pouco, fazer desaparecer-lá.

E essa convicção é, no fundo do coração, compartilhada inclusive por aqueles que afirmam o direito da teoria à incoerência lógica. Há um só entre

(11) Ver, a esse propósito, *La Théorie Physique, son Objet et sa Structure*, 1a parte, capítulo IV, seção X.

eles que hesite, mesmo um instante, em preferir uma teoria física rigorosamente coordenada a um aglomerado de teorias inconciliáveis? Quem, para criticar a doutrina de um adversário, não se esforça para descobrir nela ilogismos e contradições? Não é, pois, com plena convicção que proclamam o direito à incoerência lógica. Como todos os físicos, consideram a teoria física que representasse todas as leis experimentais por meio de um sistema único, logicamente coordenado, como a teoria ideal; e se tentam sufocar suas aspirações a este ideal, é unicamente porque acreditam que é irrealizável, porque se desesperam de atingí-lo.

Ora, é justo considerar esse ideal como uma utopia? Cabe à história da física responder a essa questão. Cabe a ela nos dizer se os homens, desde que a física assumiu a forma científica, se exauriram em vãos esforços para reunir em um sistema coordenado as inumeráveis leis descobertas pelos experimentadores. Ou, ao contrário, se esses esforços, por um progresso lento, mas contínuo, contribuíram para unir entre si os fragmentos da teoria que se achavam inicialmente isolados, a fim de produzir um sistema cada vez mais unitário, cada vez mais amplo. É esse, segundo nós, o grande ensinamento que devemos obter, quando retraçamos a evolução das doutrinas físicas, e Abel Rey viu muito bem que era essa a principal lição que obtínhamos do estudo das teorias do passado.

Assim interrogada, que resposta a história nos dá? O sentido dessa resposta não é duvidoso, e é assim que Rey o interpreta: "A física teórica não nos apresenta de modo algum um conjunto de hipóteses divergentes e contraditórias. Ela oferece, ao contrário, a quem segue atentamente suas transformações, um *desenvolvimento contínuo*, uma *verdadeira evolução*. A teoria que parecia suficiente num momento dado da ciência não cai integralmente no momento em que o campo da ciência se alarga. Boa para explicar um certo número de fatos, permanece válida para esses fatos. Ela não o é mais somente para os fatos novos; ela *não se arruinou; tornou-se insuficiente*. E por que? Porque nosso espírito não pode compreender o complexo senão após o simples, o mais geral após o que é menos geral. Para não se perder em detalhes por demais complicados que lhe mascaravam as relações exatas das coisas, ele tinha também negligenciado certas modalidades, restringido as condições de exame, reduzido o campo da observação e experimentação. A descoberta científica, se sabemos bem compreendê-la, não faz senão alargar gradativamente esse campo, levantar pouco a pouco certas restrições, reintegrar as considerações julgadas inicialmente negligenciáveis."

A diversidade que se funda numa unidade cada vez mais compreensiva, cada vez mais perfeita, tal é o grande fato que resume toda história das doutrinas físicas. Por que a evolução, da qual essa história nos manifesta a lei, pararia abruptamente? Por que as discordâncias que constatamos hoje entre os diversos capítulos da teoria física não se fundiriam amanhã num harmonioso acordo? Por que nos resignarmos a elas como a

vícios irremediáveis? Por que renunciarmos ao ideal de uma teoria plenamente unitária, perfeitamente lógica, já que os sistemas realmente construídos se aproximaram cada vez mais desse ideal, século após século?

O físico encontra, pois, em si mesmo uma irresistível aspiração a uma teoria física que represente todas as leis experimentais por meio de um sistema com uma perfeita unidade lógica; e quando ele indaga a uma análise exata do método experimental qual é o papel da teoria física, não encontra como justificar essa aspiração. A história mostra ao físico que essa aspiração é tão antiga quanto a própria ciência, que os sistemas físicos que se sucederam deram a esse desejo uma satisfação dia a dia mais plena; e o estudo dos procedimentos pelos quais progride a ciência física não lhe revela toda a razão de ser dessa evolução. As tendências que dirigem o desenvolvimento da teoria física não são, pois, plenamente inteligíveis ao físico, se ele não deseja ser senão um físico.

Se ele não quer ser senão um físico e se, positivista intransigente, ele tem por incognoscível tudo o que não pode ser determinado pelo método próprio das ciências positivas, constatará essa tendência que estimula tão fortemente suas próprias pesquisas, após ter orientado as de todos os tempos, mas não procurará sua origem, que não lhe pode ser revelada pelo único procedimento de descoberta no qual ele confia.

Se, ao contrário, ele cede à natureza do espírito humano, que se opõe às exigências extremadas do positivismo, desejará conhecer a razão daquilo que o arrasta; transporá a muralha diante da qual param, impotentes, os procedimentos da física. Formulará uma afirmação que esses procedimentos não justificam; fará metafísica.

Qual é essa proposição metafísica que o físico afirmará, a despeito da reserva imposta ao método que ele costuma usar, quase forçosamente? Ele afirmará que, sob os dados sensíveis, os únicos acessíveis a seu procedimento de estudo, escondem-se realidades cuja essência é inatingível a esses mesmos procedimentos. Afirmará que essas realidades se ordenam numa certa ordem da qual a ciência física não poderia ter a contemplação direta, mas que a teoria física, através de seus sucessivos aperfeiçoamentos, tende a ordenar as leis experimentais numa ordem cada vez mais análoga à ordem transcendente, segundo a qual se classificam as realidades. Afirmará que, por isso, a teoria física se encaminha gradualmente para a forma limite que é a forma de uma *classificação natural*. Afirmará, enfim, que a unidade lógica é uma característica sem a qual a teoria física não poderia pretender esse lugar de classificação natural.

O físico é, pois, conduzido a exceder os poderes que lhe confere a análise lógica da ciência experimental e a justificar a tendência da teoria à unidade lógica através desta afirmação metafísica: a forma ideal da teoria física é uma classificação natural das leis experimentais. Considerações de outra natureza o pressionam igualmente a formular essa afirmação.

Muito frequentemente, pode-se deduzir de uma teoria física um enunciado que não representa uma lei observada, mas uma lei observável. Se se compara esse enunciado aos resultados da experiência, que probabilidade se tem de encontrar um acordo entre estes e aquele?

Se a teoria física nada mais é do que aquilo que nos revela a análise dos procedimentos empregados pelo físico, não há qualquer probabilidade de que a lei predita pela teoria concorde com os fatos. Aos olhos do físico que tenha o cuidado de nada arriscar que não tenha sido provado por seu método habitual, o enunciado deduzido dos princípios da teoria será exatamente como se ele tivesse sido formulado ao acaso. Esse físico esperará encontrar essa previsão contraditada pela observação tanto quanto vê-la confirmada por ela. Toda idéia preconcebida a respeito da prova experimental à qual esse enunciado deve ser submetido, toda confiança antecipada no sucesso dessa prova, seriam formalmente reprovadas pela lógica estrita. Para a lógica, com efeito, a teoria física não é senão um sistema criado através de um livre decreto de nosso entendimento, a fim de classificar as leis experimentais já conhecidas. Quando nesse sistema encontramos um compartimento vazio, podemos concluir pela existência objetiva de uma lei experimental expressamente apta a ocupar esse compartimento? Rimos do colecionador que, não tendo preparado o compartimento para as conchas brancas, deduzia que não existem no mundo conchas brancas. Seria menos risível se ele autorizasse, em seu gabinete de colecionador, a presença de um compartimento consagrado à cor azul, mas ainda vazio, para afirmar que a natureza possui conchas azuis destinadas a enchê-lo?

Ora, essa indiferença perfeita a respeito do resultado da prova, essa ausência de toda previsão sobre o sentido desse resultado, em qual físico será encontrada, quando se trata de comparar aos fatos uma lei que a teoria previu? O físico sabe muito bem que a rigorosa lógica não lhe permite nada mais que essa indiferença, ela não autoriza nenhuma esperança de acordo entre a profecia teórica e os fatos; e, no entanto, ele espera e conta com esse acordo. Considera-o como mais provável que o desmentido. A probabilidade que lhe atribui é tanto maior quanto mais perfeita é a teoria submetida à prova. Quando apoia sua confiança em uma teoria em que numerosas leis experimentais encontraram uma representação satisfatória, essa probabilidade lhe parece avizinhar-se da certeza.

Nenhuma das regras que presidem o manejo do método experimental justifica essa confiança na presciência da teoria; e, no entanto, essa confiança não nos parece ridícula. Se, aliás, tivéssemos qualquer veledade de censurar a presunção, a história da física não tardaria em nos constranger a reformar nosso juízo. Ela nos citaria, com efeito, inúmeras circunstâncias em que a experiência confirmou, até nos menores detalhes, as mais surpreendentes previsões da teoria.

Por que, então, pode o físico, sem se expor ao riso, afirmar que a experiência descobrirá uma certa lei porque sua teoria reclama a realidade dessa lei, enquanto o colecionador de conchas seria ridículo, se a simples presença de um compartimento vazio em suas gavetas, consagradas às diversas cores do espectro, o levasse a concluir que há conchas azuis no oceano? É que, visivelmente, a classificação desse colecionador é um sistema puramente arbitrário, que não leva em consideração afinidades reais entre os diversos grupos de moluscos; enquanto na teoria do físico, transparece como o reflexo de uma ordem ontológica.

Portanto, tudo força o físico a afirmar: *à medida que progride, a teoria física torna-se mais semelhante a uma classificação natural, que é seu ideal e seu fim*. O método físico é impotente para provar que essa afirmação tem fundamento. Mas se não o tivesse, a tendência que dirige todo o desenvolvimento da física ficaria incompreensível. Assim, para encontrar os títulos que estabelecem sua legitimidade, a teoria física deve reclamá-los à metafísica.

8. Existe uma Analogia entre a Cosmologia e a Teoria Física

Escravo do método positivo, o físico assemelha-se ao prisioneiro da caverna. Os meios de conhecimento de que dispõe não lhe permitem ver nada senão uma sequência de sombras que se projetam sobre a parede oposta a seu olhar; mas supõe que essa *teoria* de silhuetas, da qual os contornos se estampam diante de seus olhos, não é senão o simulacro de uma sequência de figuras sólidas; e, dessas figuras invisíveis, ele afirma a existência para além da parede que não pode ultrapassar.

Assim, o físico afirma que a ordem na qual dispõe os símbolos matemáticos para constituir a teoria física é um reflexo, cada vez mais nítido, de uma ordem ontológica segundo a qual se classificam as coisas inanimadas. Qual é a natureza dessa ordem da qual afirma a existência? Qual é a espécie de afinidade pela qual se aproximam as essências dos objetos que caem sob seus sentidos? São questões às quais não lhe é permitido responder. Afirmando que a teoria física tende a uma classificação natural, conforme à ordem na qual se organizam as realidades do mundo físico, ele já excedeu os limites do domínio em que seu método pode legitimamente se exercer. Com mais forte razão esse método não pode descobrir a natureza dessa ordem, nem dizer qual seja. Precisar a natureza dessa ordem é definir a cosmologia. Apresentá-la a nossos olhos é expor um sistema cosmológico. Em ambos os casos, não se está mais fazendo essencialmente trabalho de físico, mas de metafísico.

Os procedimentos pelos quais o físico desenvolve suas teorias são impotentes quando se trata de provar que tal ou tal proposição da cosmologia é verdadeira ou falsa. As proosições cosmológicas, de uma parte,

e os teoremas da física teórica, de outra, são juízos que não concernem jamais aos mesmos termos. São radicalmente heterogêneos. Não podem nem concordar, nem se contradizer.

Resulta disso que o conhecimento da teoria física não tenha utilidade para aquele que trabalha pelo progresso da cosmologia? Esta é a questão que desejamos agora examinar.

Em primeiro lugar, precisemos com exatidão o sentido dessa questão.

Não indagamos se o cosmólogo pode, sem inconveniente, ignorar a física. A resposta a esta questão seria demasiadamente evidente. É óbvio que um sistema cosmológico não poderia ser razoavelmente constituído sem nenhum conhecimento da física.

As meditações do cosmólogo e do físico têm um ponto de partida comum. Esse ponto de partida comum são as leis experimentais descobertas pela observação detalhada dos fenômenos do mundo inanimado. Ocorre apenas que a orientação que seguem a partir desse ponto distingue as pesquisas do físico das pesquisas do cosmólogo. O primeiro quer, a partir das leis que descobriu, adquirir um conhecimento cada vez mais preciso e detalhado; o segundo analisa essas mesmas leis a fim de pôr a descoberto, se for possível, as relações essenciais que elas manifestam a nossa razão.

Se, por exemplo, o físico e o cosmólogo estudam ao mesmo tempo as leis da combinação química, o físico desejará conhecer com muita exatidão qual a proporção em que se encontram as massas dos corpos que entram em combinação, em quais condições de temperatura e pressão a reação pode se produzir, qual a quantidade de calor que ela produz. Muito diferente será a preocupação do cosmólogo. A observação lhe mostra que certos corpos, os elementos da combinação, pelo menos na aparência, deixaram de existir; que um corpo novo, o composto químico, apareceu. O filósofo se esforçará para conceber em que consiste realmente essa mudança no modo de existência; os elementos subsistem atualmente no misto? Não persistiriam eles apenas em potência? Tais são as questões às quais desejará dar uma resposta.

Os detalhes que o físico fixar através de suas experiências numerosas e precisas serão todos úteis ao filósofo? Sem dúvida, não. Um bom número, dentre as descobertas que satisfazem a um desejo de minuciosa precisão, permanecerão sem uso numa pesquisa estimulada por outras necessidades. Mas esses detalhes serão todos ociosos para o cosmólogo? Seria estranho que assim fosse, e que certos fatos, observados pelo físico, não servissem para sugerir uma resposta a algum dos problemas que preocupam o filósofo. Quando este tenta, por exemplo, desvendar o mistério que lhe esconde o verdadeiro estado dos elementos no seio de uma combinação química, não deve levar em consideração, em suas tentativas de solução, certas precisões adquiridas pelo trabalho dos laboratórios? As análises dos laboratórios, provando que se pode sempre obter de uma combinação os elementos que serviram para formá-la, e isso sem a menor perda ou o menor ganho de

matéria, não fornecem uma base preciosa, por seu rigor, por sua solidez, à doutrina que o cosmólogo tenta constituir?

Não há duvida, portanto, de que o conhecimento da física pode ser útil, e até mesmo indispensável, para o cosmólogo. Mas a ciência física é constituída pela íntima mistura de duas espécies de elementos. Um desses elementos é um conjunto de juízos que têm por objetos realidades objetivas. O outro é um sistema de sinais que servem para transformar esses juízos em proposições matemáticas. O primeiro elemento representa a contribuição da observação, o segundo a contribuição da teoria. Ora, se o primeiro desses dois elementos é manifestamente útil ao cosmólogo, parece que o segundo não lhe pode ser de nenhuma utilidade; que apenas lhe seja preciso conhecê-lo, como dissemos no item VI, a fim de não confundí-lo com o primeiro e de jamais depender de sua ajuda.

Essa conclusão seria certamente exata se a teoria física não fosse senão um sistema de símbolos arbitrariamente criados a fim de dispor nossos conhecimentos segundo uma ordem totalmente artificial, se a classificação que ela estabelece entre as leis experimentais não tivesse nada de comum com as afinidades que unem entre si as realidades do mundo inanimado.

Acontece algo completamente diferente se a teoria física tem como forma limite uma classificação natural das leis experimentais. Entre essa classificação natural, que seria a teoria física no seu mais alto grau de perfeição, e a ordem na qual uma cosmologia acabada organizaria as realidades do mundo da matéria, haveria uma correspondência exata. Portanto, quanto mais a teoria física, de uma parte, e o sistema da cosmologia, de outra, se aproximam respectivamente de sua forma perfeita, mais clara e detalhada deve ser a analogia entre essas duas doutrinas.

Assim, a teoria física não pode jamais demonstrar, nem contradizer, uma afirmação da cosmologia, porque as proposições que constituem uma dessas doutrinas nunca concernem aos mesmos termos que as proposições da qual se compõe a outra; e entre duas proposições que não concernem aos mesmos termos, não pode haver acordo nem contradição. Contudo, entre duas proposições que concernem a termos de natureza diferente, é possível, no entanto, existir *analogia*; e é uma tal analogia que deve ligar a cosmologia à física teórica.

É graças a essa analogia que os sistemas da física teórica podem vir em auxílio do progresso da cosmologia. Essa analogia pode sugerir ao filósofo todo um conjunto de interpretações. Sua presença nítida e tangível pode aumentar a confiança do pensador em uma certa doutrina cosmológica; sua ausência, leva-o à desconfiança quanto a uma outra doutrina.

Esse apelo à analogia constitui, em muitos casos, um meio precioso de investigação ou de controle. Mas convém não exagerar sua força. Se se usa aqui a expressão *prova por analogia*, convém fixar exatamente seu sentido e não confundir essa prova com uma verdadeira demonstração lógica. Uma analogia é sentida; não é concluída; ela não se impõe ao espírito com todo o

peso do princípio de contradição. Onde o pensador vê uma analogia, um outro, mais vivamente tocado pelos contrastes dos termos comparados que por suas semelhanças, pode perfeitamente ver uma oposição. Para levar este a transformar sua negação em afirmação, aquele não poderia usar a força irresistível do silogismo. Tudo o que pode fazer é, através de seu discurso, atrair a atenção de seu adversário para as similitudes que julga importantes, desviá-la das divergências que acredita negligenciáveis. Ele pode desejar persuadir aquele com quem discute, mas não poderia pretender convencê-lo.

Uma outra ordem de considerações vem ainda limitar, na cosmologia, o alcance das provas que se extraem da analogia com a teoria física.

Deve existir analogia, dissemos, entre a explicação metafísica do mundo inanimado e a teoria física perfeita, que tendesse ao estado de classificação natural. Mas essa teoria perfeita, não a possuímos, a humanidade jamais a possuirá. O que possuímos, o que a humanidade sempre possuirá, é uma teoria imperfeita e provisória que, por tentativas, hesitações, arrependimentos sem número, encaminha-se lentamente para essa forma ideal, que seria uma classificação natural. Não é, portanto, a teoria física atual que seria necessário comparar à cosmologia para pôr em evidência a analogia entre as duas doutrinas, mas a teoria física ideal. Ora, para quem conhece somente o que é, como é difícil adivinhar o que deve ser! Como suas afirmações são duvidosas e suspeitas, quando ele afirma que isto, no sistema teórico, está definitivamente estabelecido, e permanecerá inabalável no curso do tempo, enquanto aquilo, frágil e móvel, será levado pela próxima enchente de descobertas novas! Certamente, em semelhante matéria, cumpre não se surpreender por se ouvir os físicos emitirem as mais discordantes opiniões; e, para escolher entre essas opiniões, cumpre não exigir razões peremptórias, mas contentar-se com pressentimentos não analisáveis sugeridos pelo espírito de *finesse* , que o espírito geométrico se declarará incapaz de justificar.

Acreditamos que essas observações são suficientes para recomendar ao cosmólogo usar com extrema prudência a analogia entre a doutrina que professa e a teoria física. Ele jamais deverá esquecer que a analogia mais clara a seus olhos pode ser obscura aos olhos de outro, a ponto de deixar de ser percebida. Ele deverá temer sobretudo que a analogia invocada em favor da explicação que propõe apenas ligue essa explicação a algum andaime teórico provisório e caduco, e não a uma parte inabalável e definitiva da física. Enfim, deverá cogitar que toda argumentação fundada sobre uma analogia tão difícil de ser apreciada é uma argumentação infinitamente frágil e delicada, incapaz de refutar o que uma demonstração direta tivesse provado.

Eis, portanto, dois pontos que podemos tomar como adquiridos: o cosmólogo pode, no curso de seus raciocínios, invocar a analogia entre a teoria física e a filosofia da natureza. Ele não deve invocar essa analogia senão com extrema precaução.

A primeira das precauções que deve tomar o filósofo antes de apoiar-se, em sua cosmologia, sobre a analogia que ela pode apresentar com a teoria física é conhecer, exata e minuciosamente, essa teoria. Se ele tem da teoria somente um conhecimento vago e superficial, se deixará lograr por semelhanças de detalhes, por aproximações acidentais, e mesmo por assonâncias de palavras, que tomará como marcas de uma analogia real e profunda. Somente uma ciência capaz de penetrar a física teórica até seus mais secretos arcanos, que lhe põe a nú seus fundamentos mais íntimos, poderá colocá-lo em guarda contra esses erros capciosos.

Mas não é suficiente ao cosmólogo conhecer, e muito exatamente, as doutrinas atuais da física teórica. É necessário que conheça ainda as doutrinas passadas. Não é, com efeito, à teoria atual que a cosmologia deve ser análoga, mas à teoria ideal, para a qual a teoria atual tende por um progresso incessante. Não se trata, pois, para o filósofo, de comparar à sua cosmologia a física tal como ela é, congelando, de alguma forma, a ciência em um instante preciso de sua evolução, mas de apreciar a tendência da teoria, de adivinhar o fim para o qual ela se dirige. Ora, nada pode guiá-lo seguramente nesta adivinhação da rota que seguirá a física, a não ser o conhecimento do caminho que ela já percorreu. Se, durante o tempo de um piscar de olhos, percebemos uma posição isolada da bola atirada pelo jogador de péla, não podemos adivinhar o fim visado por esse jogador. Mas se nosso olho seguiu a bola desde o momento em que a mão a lançou, nossa imaginação, prolongando a trajetória, marca com antecedência o ponto que será atingido. Assim, a história da física nos deixa suspeitar alguns traços da teoria ideal à qual tende o progresso científico, da classificação natural que será como uma imagem da cosmologia.

Aquele, por exemplo, que tomasse a teoria física tal como foi apresentada, no ano de 1905, pela maioria daqueles que a ensinam, aquele que prestasse atenção às palavras ditas nos cursos e aos rumores dos laboratórios, sem lançar um olhar para trás, sem se preocupar com o que se ensinava antes, ouviria os físicos invocar sem cessar, em suas teorias, as moléculas, os átomos e os elétrons, contar esses pequenos corpos, determinar seu tamanho, sua massa, sua carga elétrica; pelo consentimento quase universal que beneficia essas doutrinas, pelo entusiasmo que criam, pelas descobertas que provocam ou que lhes são atribuídas, trataria sem dúvida essas teorias como as proféticas precursoras da teoria destinada a triunfar no futuro. Julgaria que elas nos manifestam, em um primeiro esboço, a forma ideal à qual a física se assemelhará cada dia mais. E como a analogia entre essas teorias físicas e a cosmologia dos atomistas brilha com evidência, delas extrairia, em favor dessa cosmologia, uma presunção eminentemente favorável.

Como será diferente seu julgamento se ele não se contentar em conhecer a física pelo rumor do momento, se ele se aprofundar em todas as suas partes, tanto naquelas que estão em voga, como naquelas abandonadas

por um injusto esquecimento: se, sobretudo, o estudo da história, lembrando à sua memória os erros dos séculos passados, colocá-lo em guarda contra os embaraços irracionais do tempo presente!

Verá, então, que as tentativas de explicação fundadas sobre o atomismo acompanham, desde os tempos mais remotos, a teoria física; enquanto reconhecerá nesta última a obra produzida pelo poder de abstrair, essas tentativas se lhe apresentarão como os esforços do espírito que quer imaginar o que deve ser somente concebido. Ele as verá renascendo sem cessar, mas sempre condenadas ao aborto. Toda vez que a feliz audácia de um experimentador tiver descoberto um novo conjunto de leis experimentais, verá os atomistas apoderarem-se, com uma precipitação febril, esse domínio mal explorado e construirão um mecanismo que represente aproximadamente esses primeiros achados; depois, à medida que as descobertas do experimentador se tornarem mais numerosas e mais minuciosas, ele verá que as combinações dos atomistas se complicam, se perturbam, se sobrecarregam de complicações arbitrarias, sem chegar, entretanto, a dar conta, com precisão, das leis novas, nem a ligá-las solidamente às leis antigas. Durante esse tempo, verá a teoria abstrata, aumentada por um paciente labor, tomar posse de novos territórios que os experimentadores exploraram, organizar suas conquistas, anexá-las a seus antigos domínios, e, de sua união, fazer um império perfeitamente coordenado. Perceberá claramente que a física do atomismo, condenada a um perpétuo recomeço, não tende através de um progresso contínuo à forma ideal da teoria física; ao passo que adivinhará a realização cada vez mais completa desse ideal, quando contemplar o desenvolvimento que sofreu a teoria abstrata, da escolástica a Galileu e Descartes, de Huygens, Leibniz e Newton a D'Alembert, Euler, Laplace e Lagrange; de Sadi Carnot e Clausius a Gibbs e Helmholtz.

9. Da Analogia entre a Teoria Física e a Cosmologia Peripatética

Antes de continuar, vamos resumir o que obtivemos anteriormente:

Entre a forma ideal em direção à qual se encaminha lentamente a teoria física e a cosmologia, deve existir analogia. Essa afirmação não é de maneira alguma uma consequência do método positivo, pois, embora ela se imponha ao físico, é essencialmente uma afirmação metafísica.

O procedimento intelectual pelo qual apreciamos a analogia maior ou menor que existe entre uma teoria física e uma doutrina cosmológica é inteiramente distinto do método através do qual se desenvolvem as demonstrações convincentes. As conclusões de uma tal apreciação se propõem, não se impõem.

Essa analogia deve ligar a filosofia natural não ao estado presente da teoria física, mas ao estado ideal em direção ao qual ela tende. Ora, esse estado ideal não é dado de maneira manifesta e incontestável; é suspeitado através de uma adivinhação infinitamente delicada e aleatória, guiada, contudo, por um conhecimento aprofundado da teoria e de sua história.

Os ensinamentos que o filósofo pode tirar da teoria física, seja a favor, seja em prejuízo de uma doutrina cosmológica, são, portanto, indicações apenas esquematizadas. Bem tolo seria aquele que as tomasse por demonstrações científicas seguras, aquele que se espantasse em vê-las discutidas e contestadas!

Após ter assim afirmado com nitidez quanto difere de uma demonstração propriamente dita toda comparação entre uma teoria física e uma doutrina cosmológica; após ter acentuado como é amplo o espaço que ela deixa para a hesitação e a dúvida, seja-nos permitido indicar qual é a forma atual de teoria física que nos parece tender à forma ideal e qual é a doutrina cosmológica que nos parece ter com essa teoria a mais forte analogia. Não é em nome do método positivo próprio das ciências físicas que pretendemos dar essa indicação. Pelo que dissemos, é evidente que ela excede o alcance desse método, que esse método não pode nem confirmá-la, nem contradizê-la. Ao dá-la, ao penetrar desse modo no domínio próprio da metafísica, sabemos que abandonamos o domínio da física; sabemos que um físico, após ter percorrido em nossa companhia esse último domínio, pode muito bem, sem violar as regras que a lógica impõe, recusar-se a seguir-nos no terreno da metafísica.

Entre as diversas maneiras de tratar a teoria física que recebem atualmente a atenção dos homens de ciência, qual é a que tem em si os germens da teoria ideal? Qual é aquela que já apresenta, pela ordem na qual ela dispõe as leis experimentais, como que um esboço da classificação natural? Essa teoria, dissemos com frequência, é em nossa opinião a que se denomina termodinâmica geral.

Esse juízo nos é ditado pela contemplação do estado atual da física, do harmonioso conjunto que a termodinâmica geral compõe por meio das leis que os experimentadores descobriram e precisaram. Ele nos é ditado, sobretudo, pela história da evolução que conduziu a teoria física a seu estado atual.

O movimento pelo qual a física evolui pode, com efeito, decompor-se em dois outros movimentos que se sobrepõem sem cessar. Um dos movimentos é uma sequência de alternativas perpétuas. Uma teoria eleva-se, domina um instante a ciência, depois desaba e uma outra teoria a substitui. O outro movimento é um progresso contínuo. Por esse progresso, vemos criar-se no curso do tempo uma representação matemática cada vez mais ampla e mais precisa do mundo inanimado revelado pela experiência.

Ora, esses efêmeros triunfos, seguidos de súbitas ruínas, que compõem o primeiro desses dois movimentos, são os sucessos e os reveses que sofrem,

via de regra, os diversos físicos mecanicistas, a física newtoniana tanto quanto a cartesiana ou a atomista. Ao contrário, o contínuo progresso que constitui o segundo movimento culminou na termodinâmica geral. Para ela acabaram convergindo todas as tendências legítimas e fecundas das teorias anteriores. Visivelmente, é desse termo que deve partir, na época em que vivemos, a marcha que encaminhará a teoria em direção a seu fim ideal.

Existe uma cosmologia que seja análoga a esse ideal que entrevemos como o fim do caminho com o qual a termodinâmica geral compromete a teoria física? Não é seguramente a antiga cosmologia dos atomistas, nem a filosofia natural criada por Descartes, nem a doutrina de Boscowich, inspirada nas idéias de Newton. Por outro lado, há uma cosmologia com a qual a termodinâmica geral apresenta uma analogia não desprezível. Essa cosmologia é a física peripatética; e essa analogia é tanto mais surpreendente quanto menos visada, mais marcante pelo fato de que os criadores da termodinâmica eram estranhos à filosofia de Aristóteles.

A analogia entre a termodinâmica geral e a física da escola peripatética é marcada por muitos caracteres, cuja proeminência atrai a atenção de imediato.

Entre os atributos da substância, a física peripatética confere uma igual importância à categoria da quantidade e à categoria da qualidade. Ora, através de seus símbolos numéricos, a termodinâmica geral representa igualmente as diversas grandezas das quantidades e as diversas intensidades das qualidades.

O movimento local não é, para Aristóteles, mais que uma das formas do movimento geral, enquanto as cosmologias cartesiana, atomista e newtoniana concordam em que o único movimento possível é a mudança de lugar no espaço. Entretanto, a termodinâmica geral trata, em suas fórmulas, de um número enorme de modificações, tais como as variações de temperatura, as mudanças de estado elétrico ou de imantação, sem procurar de modo algum reduzir essas variações ao movimento local.

A física aristotélica conhece transformações ainda mais profundas que aquelas às quais ela reserva o nome de movimento. O movimento não atinge senão os atributos. Essas transformações penetram até a própria substância, são a *geração* ou a *corrupção*, que criam uma substância nova, ao mesmo tempo em que aniquilam uma substância pré-existente. Do mesmo modo, na mecânica química, que constitui um de seus capítulos mais importantes, a termodinâmica geral representa os diversos corpos através de massas que uma reação química pode criar ou anular. No seio da massa do corpo composto, as massas dos componentes não subsistem senão em potência.

Esses traços, e muitos outros que seria demasiado longo enumerar, ligam fortemente a termodinâmica geral às doutrinas essenciais da física peripatética.

Dizemos: às doutrinas essenciais da física peripatética; e é sobre este último ponto que é necessário agora insistir.

No momento em que Aristóteles ergueu o monumento grandioso do qual a *Physica*, o *De Generatione et Corruptione*, o *De Caelo*, os *Meteoros* nos conservaram o plano; na época em que comentadores como Alexandre de Aphrodisia, Themistius, Simplicio, Averroes, e os inumeráveis comentadores da Escolástica, se esforçavam para cinzelar e polir até a menor parcela desse imenso edifício, a ciência experimental estava na infância. Os instrumentos que aumentam em tanta proporção a extensão, a segurança e a precisão de nossos meios de conhecer ainda não haviam sido inventados para captar a realidade material. O homem tinha apenas os sentidos, totalmente nus. Os dados sensíveis lhes chegavam tal como eles se apresentam de imediato à nossa percepção. Nenhuma análise tinha ainda reconhecido e desembaraçado sua assustadora complicação. Os fatos que uma ciência mais avançada devia considerar como os resultados de uma multidão de fenômenos simultâneos e emaranhados, uma pressa ingênua tomava como dados simples e elementares da filosofia natural. De tudo que havia de inacabado, de prematuro, de pueril nessa ciência experimental, reconhecia-se necessariamente a marca na cosmologia que dela nasceu. Aquele, pois, que percorre apressadamente as obras dos peripatéticos, que se limita a tratar superficialmente as doutrinas expostas nessas obras, percebe, de todos os lados, observações estranhas, explicações sem alcance, discussões ociosas e fastidiosas, numa palavra, um sistema envelhecido, gasto, esfacelado, cujos contrastes com a física atual saltam aos olhos, sem que se possa nele reconhecer a menor analogia com nossas teorias modernas.

Outra é a impressão de quem cava mais fundo. Sob essa crosta superficial onde se conservam, mortas e fossilizadas, as doutrinas físicas dos tempos antigos, descobre os pensamentos profundos que estão no próprio coração da cosmologia peripatética. Tirados da casca que os escondia e, ao mesmo tempo, os mantinha cativos, esses pensamentos retomam vida e movimento. medida que se animam, vê-se apagar a máscara de velhice que os dissimulava; logo, entre seu aspecto rejuvenecido e nossa termodinâmica, se manifesta uma surpreendente semelhança.

Portanto, aquele que quer reconhecer a analogia da cosmologia peripatética com a física teórica atual não deve limitar-se à imagem superficial dessa cosmologia. Deve penetrar seu sentido profundo.

Que um exemplo venha esclarecer e precisar nosso pensamento.

Tomaremos esse exemplo de uma das teorias essenciais da cosmologia de Aristóteles, da teoria do *lugar natural dos elementos*. Consideremos inicialmente essa teoria na superfície e como que do exterior.

Em todos os corpos sempre se encontram, ainda que em graus diversos, quatro qualidades: o quente e o frio, o seco e o úmido. Cada uma dessas qualidades caracteriza essencialmente um elemento. O fogo é eminentemente o elemento quente; o ar, o elemento frio; a terra, o elemento seco; e a água, o elemento úmido. Todos os corpos que nos cercam são mistos; na medida em que cada um dos quatro elementos, fogo, ar, terra e

água entram na composição de um misto, esse misto é quente ou frio, seco ou úmido. Além desses quatro elementos, suscetíveis de se transformarem uns nos outros por corrupção e geração, existe uma quinta essência, que não pode ser gerada nem corrompida. Essa essência forma os orbes celestes e os astros, que são porções condensadas desses orbes.

Cada um dos elementos tem um *lugar natural*; permanece em repouso quando se encontra neste lugar; e quando é dele retirado por *violência*, a ele retorna por *movimento natural*.

O fogo é essencialmente *leve*. Seu lugar natural é a concavidade do orbe lunar; portanto, por movimento natural, sobe até que seja obstado por essa abóbada sólida. A terra é o elemento pesado por excelência; seu movimento natural a conduz para o centro do mundo, que é seu lugar natural. O ar e a água são pesados; mas o ar é menos pesado que a água, que é menos pesada que a terra. Ora, por movimento natural, o mais pesado tende sempre a se situar abaixo do menos pesado. Os diversos elementos estarão, pois, em lugares naturais quando três superfícies esféricas, concêntricas com o universo, separarem a água da terra, o ar da água, o fogo do ar. O que mantém cada elemento em seu lugar natural, quando ele aí se encontra situado? O que o leva para esse lugar, quando é dele retirado? Sua forma substancial. Por que? Porque todo ser tende à sua perfeição e porque nesse lugar natural a forma substancial atinge sua perfeição; é nesse lugar que ela resiste melhor a tudo que poderia corrompê-la; é nesse lugar que experimenta, da maneira mais favorável, a influência dos movimentos celestes e das luzes astrais, fontes de toda geração e de toda corrupção no seio dos corpos sublunares.

Como toda essa teoria do pesado e do leve nos parece pueril! Como nela se reconhecem os primeiros balbucios da razão humana, ensaiando a explicação da queda dos corpos! Como estabelecer a menor aproximação entre esses balbucios de uma cosmologia infantil e o admirável desenvolvimento de uma ciência em seu pleno vigor, da mecânica celeste de Copérnico e Kepler, Newton e Laplace?

Certamente, nenhuma analogia aparece entre a física atual e a teoria do *lugar natural*, se tomamos esta teoria tal como aparece à primeira vista, com todos os detalhes que compõem sua figura exterior. Mas deixemos de lado agora esses detalhes, quebrems esse molde da ciência antiga onde a cosmologia peripatética não podia deixar de estar vazada. Vamos até o fundo desta doutrina, para captarmos idéias metafísicas que são sua alma. O que encontramos, então, de verdadeiramente essencial na teoria do *lugar natural* dos elementos?

Encontramos a afirmação de que se pode conceber um estado em que a ordem do universo seria perfeita; que esse estado seria, para o mundo, um estado de equilíbrio, e ainda mais, um estado de equilíbrio estável. Retirado desse estado, o mundo tende a voltar a ele, e todos os movimentos naturais, todos os que se produzem entre os corpos sem nenhuma intervenção de um

motor animado, são produzidos por essa causa. Todos eles têm por objeto conduzir o universo a esse estado de equilíbrio ideal, de modo que essa causa final é, ao mesmo tempo, sua causa eficiente.

Ora, frente a essa metafísica, a teoria física se levanta, ensinando o que segue:

Se se concebe um conjunto de corpos inanimados, que se supõe subtraído à influência de todo corpo estranho, cada estado desse conjunto corresponde a um certo valor de sua *entropia*. Em um certo estado, essa entropia do conjunto teria um valor maior que em qualquer outro. Esse estado de máxima entropia seria um estado de equilíbrio e de equilíbrio estável. Todos os movimentos, todos os fenômenos que se produzem no seio desse sistema isolado fazem crescer sua entropia. Todos eles tendem, portanto, a conduzir esse sistema a seu estado de equilíbrio.

E agora, entre a cosmologia de Aristóteles, reduzida a suas afirmações essenciais, e os ensinamentos da termodinâmica, como não reconhecer uma surpreendente analogia?

Poderíamos multiplicar as comparações desse gênero. Acreditamos que elas autorizariam esta conclusão: se despíssemos a física de Aristóteles e da Escolástica da vestimenta científica gasta e fora de moda que a recobre, se fizéssemos aparecer, em sua vigorosa e harmoniosa nudez, a carne viva dessa cosmologia, ficaríamos surpresos com a semelhança que ela apresenta com nossa teoria física moderna, reconheceríamos nessas duas doutrinas, duas imagens da mesma ordem ontológica, distintas porque tomadas de um ponto de vista diferente, mas de maneira alguma discordantes.

Física do crente, dirá alguém, essa física na qual se marca tão claramente a analogia com a cosmologia de Aristóteles e da Escola. Por que? Existe algo na cosmologia de Aristóteles, da Escolástica, que implique adesão necessária ao dogma católico? Um incrédulo não pode, tanto quanto um crente, adotar essa doutrina? E, com efeito, não foi ela ensinada por pagãos, por muçulmanos, por heréticos, por judeus, tanto quanto por fiéis filhos da Igreja? Onde se encontra então esse caráter essencialmente católico do qual se diz estar ela impregnada? Encontra-se no fato de um grande número de doutores católicos, e dos mais eminentes, terem trabalhado pelo seu progresso? No fato de que ainda há pouco um papa proclamava o serviço que a filosofia de S. Tomás de Aquino prestou outrora à ciência e os que ela lhe pode prestar no futuro? Resulta desses fatos que o incrédulo não possa, sem subscrever implicitamente uma fé que não é a sua, reconhecer o acordo da cosmologia escolástica com a física moderna? Seguramente não. A única conclusão que esses fatos impõem é que a Igreja católica contribuiu poderosamente, em muitas circunstâncias, que ela contribuiu ainda energeticamente, para manter a razão humana em seu reto caminho, mesmo quando essa razão se esforça na descoberta de verdades de ordem natural. Ora, qual espírito imparcial e esclarecido, ainda que incrédulo, ousaria acusar de falsa esta afirmação?

Trad. de José Luiz Fourniol Rebello

O VALOR DA TEORIA FÍSICA

O VALOR DA TEORIA FÍSICA (A propósito de um livro recente)¹

A filosofia esteve, desde as mais antigas especulações que chegaram ao nosso conhecimento, indissoluvelmente ligada à ciência da natureza, dos números e das figuras. Há cerca de cem anos, essa ligação várias vezes milenar que unia a filosofia primeira à filosofia natural pareceu ter-se enfraquecido a ponto de se romper. Deixando ao geômetra e ao experimentador o cuidado, cada vez mais minucioso e cansativo, de trabalhar para o progresso das ciências particulares, o filósofo tomou por objetos exclusivos de suas meditações as idéias mais gerais da metafísica, da psicologia e da moral. Desde então, seu pensamento pareceu mais leve, mais apto a se elevar a alturas que os sábios não tinham podido atingir até então, encarregados que estavam de mil conhecimentos estranhos ao seu verdadeiro e nobre estudo.

Desembaraçada das matemáticas, da astronomia, da física, da biologia, de todas as ciências de caminhar lento, de técnica complicada, de terminologia difícil e incompreensível para os leigos, a filosofia tomou a forma de uma doutrina fácil, acessível ao grande público, capaz de formular seus ensinamentos numa linguagem eloqüente que todos os homens cultos pudessem entender.

A moda dessa filosofia separada não foi de longa duração; os espíritos lúcidos não tardaram a perceber o princípio vicioso que apenas encobre as aparências sedutoras desse método. Sem dúvida, ela parecia bem mais leve que a antiga sabedoria, curvada sob o peso enorme das ciências de detalhe. Mas, se ela parecia alçar vôo com menor dificuldade não era porque suas asas fossem mais longas e mais poderosas; mas porque simplesmente se tinha esvaziado do conteúdo ao qual devia sua solidez, reduzindo-se a uma mera forma destituída de matéria.

Numerosas foram as vozes que lançaram o grito de alerta; a reforma tentada no começo do século XIX punha em perigo o próprio futuro da filosofia. Se não se quisesse ver a filosofia degenerar num falatório cuja sonoridade revelava o vazio, era preciso dar-lhe rapidamente o alimento de que ela se tinha por tanto tempo nutrido e do qual se tinha pretendido privá-la. Longe de separá-la das ciências particulares, era preciso nutri-la

(1) Abel Rey, *La Théorie de la Physique chez les Physiciens Contemporains*, Paris, Felix Alcan, 1907. O artigo de Duhem, aqui traduzido, foi publicado com o título "La Valeur de la Théorie Physique", *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, Vol.1, janeiro 1908, pp.7-19.

com os ensinamentos dessas ciências, para que ela os absorvesse e os assimilasse; era preciso que ela merecesse de novo o título que há tanto a ornava: *Scientia scientiarum*.

O conselho era mais fácil de dar que de seguir. Quebrar uma tradição é fácil; renová-la não o é. Entre as ciências particulares e a filosofia, um abismo se abriu; o istmo que ligava outrora esses dois continentes entre si, que estabelecia entre eles uma contínua troca de idéias, estava agora rompido e as duas pontas que se tratava de reunir jaziam no fundo do abismo. A partir de então, privados de todo meio de comunicação, os habitantes das duas margens, filósofos de um lado, homens de ciência do outro, estavam impossibilitados de coordenar seus esforços no sentido de obter a união que todos sentiam necessária.

Entretanto, de um e de outro lado, homens audazes puseram mãos a obra. Dentre aqueles que se tinham dedicado às ciências particulares, muitos tentaram apresentar aos filósofos, numa forma que pudesse satisfazê-los, os resultados mais gerais e mais essenciais de suas minuciosas pesquisas. Por seu lado, certos filósofos não hesitaram em aprender a linguagem da matemática, da física, da biologia, em familiarizar-se com a técnica dessas diversas disciplinas, a fim de poder tomar emprestado aos tesouros que elas tinham reunido tudo o que pudesse enriquecer a filosofia.

Em 1896, um professor auxiliar de filosofia, antigo aluno do Departamento de Letras da Escola Normal, defendeu na Faculdade de Letras de Paris uma tese sobre o *infinito matemático*. Foi um acontecimento com justiça ressaltado; e Couturat indicou aos menos atentos o retorno da filosofia ao estudo das ciências, a retomada da tradição por tanto tempo abandonada.

Ao escolher como tema de sua tese de doutorado em Letras a *Teoria da Física nos Físicos Contemporâneos*, Abel Rey estreita as relações que Couturat tinha reatado. Tivesse ele feito apenas isso, já mereceria o reconhecimento de todos os que se preocupam com o futuro da filosofia.

Mas sua obra não tem apenas esse valor. Ela vale ainda pela importância do problema que o autor examinou e pelo cuidado com o qual preparou a solução que propõe.

1.

Em primeiro lugar, eis os termos (p.III) em que Rey coloca o problema:

"O movimento fideista e anti-intelectualista dos últimos anos do século XIX pretende, ao fazer da ciência uma técnica utilitária, apoiar-se numa análise da ciência física mais exata e mais profunda que todas as que tinham sido feitas até então. Esse movimento expressaria o espírito geral da física

contemporânea e resumiria as conclusões necessárias de um exame imparcial de suas proposições, de seus métodos e de suas teorias..."

"Verificar se essas afirmações eram fundadas, esta é a idéia diretriz que me levou a empreender este trabalho."

A solução que o autor desejaria dar a essas questões é a seguinte (p.363):

"Sim, a ciência, e particularmente as ciências físicas, têm um valor utilitário; esse valor utilitário é considerável. Mas ele é pequeno em comparação com seu valor como saber desinteressado. E sacrificar este aspecto ao outro significa ter passado ao largo da verdadeira natureza da ciência física. Pode-se mesmo dizer que a ciência física não tem, por si mesma e em si mesma, senão um valor enquanto saber."

Pode-se ir ainda mais longe (p.367): "*Não conheceremos no sentido estrito da palavra* senão o que a ciência física for capaz de atingir e nada mais. Não haverá outro meio de conhecer no domínio que é o objeto da física. Assim, ainda que seja humana a medida da ciência física, é forçoso contentar-nos com esta ciência."

O pragmatismo contemporâneo afirmou que as teorias físicas não teriam nenhum valor como saber; que seu papel era totalmente utilitário; que as teorias, em última análise, nada mais eram que *receitas cômodas* que nos permitem agir *com sucesso* no mundo exterior. Contra essa afirmação, trata-se de justificar a antiga concepção da física: a teoria física não tem apenas utilidade prática; ela tem ainda, e sobretudo, um valor como conhecimento do mundo material. Esse valor, ela não o obtém de um outro método que, aplicado ao mesmo tempo que ela aos mesmos objetos, supriria as insuficiências do método físico e conferiria a suas teorias um valor transcendente à sua própria natureza. Não há outro método além do método físico que possa servir ao estudo dos objetos de que trata a física. O método físico retira de si mesmo a justificação das teorias físicas; ele, e somente ele, determina o que elas valem enquanto saber.

Aqui está enunciado o problema e formulada a solução. E, para que nenhuma incerteza venha perturbar o debate, lembremos cuidadosamente que esse debate não diz respeito à física inteira. Os fatos da experiência estão fora de questão. Ninguém, exceto os céticos, cujos propósitos escapam a toda discussão, contesta seu valor documental ou nega que sejam para nós ensinamentos sobre o mundo exterior. O único ponto em litígio é o valor da *teoria física*.

Conhecemos agora a questão que levou o autor a escrever sua obra; conhecemos o fim que ele deseja atingir. Do ponto de partida ao ponto de chegada, que caminho percorrerá?

Existe um caminho que pareceria ser o mais direto e seguro. Consistiria em avaliar um após o outro, em examinar com minúcia, os argumentos de que se serve o pragmatismo e pôr em evidência o defeito que

os vicia e os torna impróprios para justificar a tese que estão destinados a provar.

Esse método não teve a aprovação do autor; talvez nos seja permitido lamentá-lo. Teríamos apreciado muito vê-lo atacar a doutrina adversa de frente, corpo a corpo, e não utilizar um caminho indireto. Sobretudo, teríamos apreciado que ele citasse e nomeasse os defensores dessa doutrina; que os matemáticos e físicos, cujos nomes aparecem a todo instante sob sua pena, não fossem obscurecidos por tal vizinhança. Filósofos ou cientistas podem não compartilhar todas as opiniões de Edouard Le Roy, para mencionar apenas um nome; mas, tanto a uns quanto aos outros, ele mostrou seu valor, e tanto uns como outros o consideram como um dos seus.

De qualquer modo, não percamos tempo elogiando a rota diretriz que Abel Rey não quis percorrer e trilhemos com ele o caminho que escolheu. Façamos com que ele, de início, nos indique esse caminho (p.II-III):

"O método só podia ser uma investigação junto aos físicos contemporâneos. E nisso a tarefa foi grandemente facilitada pelo fato de que certos físicos – e dentre os mais consideráveis – se ocupam hoje da filosofia da física, dando a este termo o sentido, quase positivista, de um ponto de vista geral, sintético e crítico sobre os grandes problemas contidos por uma ciência, sobre seu método e devir."

"Só me faltava, então, para atingir meu objetivo, buscar as opiniões atualmente sustentadas pelos físicos sobre a natureza e a estrutura da sua ciência e tentar apresentar seu desenvolvimento sistemático, de acordo com aqueles que se tinham ligado particularmente a essas questões e que me pareciam tê-las exposto de forma mais clara e completa."

Procurar nos escritos de certo número de matemáticos, de mecânicos, de físicos, o que seus autores pensavam acerca do valor das teorias físicas; reunir e formular claramente as opiniões que freqüentemente nesses escritos ficavam esparsas e subentendidas; constatar que todas essas opiniões, não obstante as diferenças freqüentemente muito profundas que as separam, estão orientadas por uma tendência comum e convergem todas para uma mesma proposição, e que esta última é, enfim, a afirmação de uma crença numa teoria física, cujo valor é um valor enquanto *saber* e não apenas uma utilidade prática, tal é a investigação que Abel Rey bem conduziu, com tanto talento que esquecemos quanto deve ter sido trabalhosa.

Mas tem uma tal investigação a extensão que lhe atribui o autor? É ela capaz de dar uma solução convincente ao problema proposto? É preciso notar, de início, que ela é extremamente parcial e que não poderia ser de outro modo. Forçosamente, o número de cientistas chamado a opinar nesta espécie de consulta é ínfimo em relação à multiplicidade dos que não são ouvidos. Fosse ela mais completa, fosse ela integral, essa espécie de *referendum* dos físicos estaria ainda bem longe de ter valor probatório. Uma questão lógica não se resolve pela maioria dos sufrágios. Com efeito, aqueles que fazem física, mesmo com o maior sucesso, aqueles que ilustram seu

nome com as mais brilhantes descobertas, não podem enganar-se, até de modo grosseiro, a respeito do fim e do valor da ciência à qual consagraram a vida? Não descobriu Cristovão Colombo a América pensando dirigir-se às Índias? E não é um dos temas favoritos do pragmatismo que os homens de ciência freqüentemente se iludam quanto à natureza exata das verdades que descobrem? Não subscreve ele esta fórmula de Maurice Blondel, tão enérgica em sua estranha forma: "A ciência não conhece o que conhece tal como ela o conhece"?

Abel Rey, além disso, compreendeu muito bem que, para conhecer o verdadeiro valor da teoria física, não seria suficiente, a esse respeito, organizar um plebiscito entre os físicos. Deixando de lado a multidão laboriosa que povoa os laboratórios, colheu apenas a opinião daqueles que viveram um pouco à parte dos conflitos e que, do alto de "pequenos outeiros distantes", puderam discernir o movimento geral desse assalto lançado à verdade. Assim, o autor se ateve exclusivamente à opinião desses homens que não mantêm, com relação ao valor das teorias físicas, a confiança cega do pesquisador; que submetem esse valor a uma severa crítica, antes de lhe conferir credibilidade. Portanto, as opiniões desses homens não contava, para ele, apenas como a voz de um físico qualquer. Ele atribuiu a essas opiniões um peso especial, e esse peso, de onde provinha senão da análise lógica que transformara uma tendência instintiva em uma convicção ponderada? Vale dizer que não basta anotar o parecer de um lógico da física e constatar que ele é favorável à tese do autor. É preciso ainda examinar escrupulosamente a série de deduções que serviram para justificar esse parecer: ele vale o que valem esses raciocínios. Abel Rey não ignorou a necessidade de tal crítica. Foi ela sempre, em sua obra, tão severa e tão minuciosa quanto poderia ter sido? A satisfação de chegar a uma conclusão conforme as aspirações do autor não o impediu, por vezes, de perceber as lacunas que separavam essa conclusão das premissas? Não ousaríamos afirmá-lo.

2.

Antes de recolher a opinião dos físicos, ou melhor, dos lógicos da física, Rey os classifica. A marca que serve para designar, para cada um deles, a categoria que deve ocupar é fornecida pela atitude tomada com relação ao mecanicismo.

Três atitudes são possíveis perante as teorias mecânicas da matéria: a atitude hostil, a atitude de simples espera ou crítica, e a atitude favorável.

A atitude hostil é a que caracteriza primeiramente Macquorn Rankine, depois Ernst Mach e Ostwald e, por fim, o signatário destas páginas.

A atitude de simples espera e crítica é a de Henri Poincaré.

Quanto à atitude favorável ao mecanicismo, é mais difícil encontrar para ela representantes que tenham analisado, antes de aceitá-las, as razões que têm para preferi-la às outras duas; representantes para quem ela seja consciente e refletida mais do que instintiva e espontânea. "Não é possível seguir, para expor a teoria mecanicista, o método que se seguiu para as outras concepções da física. Com efeito, essas concepções foram expostas de maneira explícita por um ou alguns de seus adeptos. Analisando o trabalho desses cientistas, foi possível definir completamente o espírito geral que animava suas escolas. Mas, com o mecanicismo, tudo muda. Para começar, é uma doutrina mais plástica; nunca se esgotaria se se quisesse expor todos os seus matizes. Este fato, aliás, não nos deve surpreender, dado o número de seus adeptos. Além disso, não conheço ninguém que se tenha proposto a definir e expor integralmente a teoria física mecanicista. Ela parece tão natural, pela própria tradição, que não se pensa em analisá-la." (p.233)

E, entretanto, aqui é necessária uma análise, no mínimo para precisar, de maneira perfeitamente nítida, as linhas de demarcação que Rey traçou entre as diversas escolas de físicos.

O que devemos entender exatamente por *mecanicismo*? Devemos defini-lo como uma doutrina que se propõe a representar todos os fenômenos físicos através de sistemas movidos em conformidade com os princípios da dinâmica ou, se desejamos ser mais precisos, com as equações de Lagrange? Saberemos, então, com grande exatidão, o que se deve entender por física mecanicista, ainda que se possa traçar duas subdivisões. Numa, admite-se que corpos separados entre si podem exercer reciprocamente forças de atração ou de repulsão: é a física mecanicista de Newton, Boscovich, Laplace e Poisson. Na outra, não se admite força que não seja uma força de ligação entre dois corpos contíguos: é a física mecanicista de Heinrich Hertz.

Esse sentido muito exatamente delimitado da palavra *mecanicismo* não é aquele que se deve entender ao ler a obra de Rey. Vemos este autor contar entre os mecanicistas físicos como J.J.Thomson ou Jean Perrin. Ora, para estes, os sistemas cujos movimentos devem ser representados pelas leis da física não são regidos pelas equações da dinâmica, mas antes pelas equações da eletrodinâmica. Tais físicos não são *mecanicistas*, pelo menos no sentido estrito que acabamos de dar à palavra; são antes *eletrodinamistas*.

Vemos, assim, que a palavra *mecanicismo* toma, para Abel Rey, um sentido extremamente amplo. Entretanto, esforcemo-nos para delimitá-lo com exatidão.

Se procurarmos o que existe de comum entre as teorias, aliás muito numerosas e diferentes, que Abel Rey reuniu sob o nome de mecanicismo, encontraremos o seguinte: em todas essas teorias, procura-se figurar as leis físicas por meio de grupos de corpos sólidos semelhantes, de dimensões próximas, aos que podemos ver e tocar, que podemos esculpir em madeira ou metal. Ainda que sejam formados de moléculas ou átomos, íons ou

elétrons, os sistemas, cujo movimento o teórico descreve, são, apesar da extrema pequenez, concebidos como análogos aos majestosos sistemas astronômicos. Todas essas especulações se assemelham, portanto, nisto: desejam reduzir todas as propriedades que observamos na natureza a combinações de formas e de movimentos submetidos ao domínio da nossa imaginação. É o que evidencia muito bem o título atribuído por Rey à quarta parte de sua obra: *Os Continuadores do Mecanicismo: as hipóteses figurativas*.

Está, assim, nitidamente caracterizada a classificação que Rey estabeleceu entre as diversas escolas físicas. Seja-nos permitido dizer imediatamente: essa classificação não nos parece ser a que seria conveniente adotar, dado o problema em vista do qual o autor instituiu sua investigação. Com efeito, ela nos parece capaz de criar uma inextrincável confusão entre esse problema e um outro que, por estar próximo ao primeiro, não lhe é menos essencialmente distinto. A questão que nos propomos a responder é a seguinte: são as teorias físicas somente meios para agir sobre a Natureza, ou devemos, além de sua utilidade prática, atribuir-lhes um valor como conhecimento? Peço que não se confunda tal problema com este outro: deve a física ser mecanicista? Ou, mais precisamente, com esta questão: é necessário que todas as hipóteses da física se resolvam em proposições relativas aos movimentos de corpúsculos suscetíveis de serem figurados e imaginados? Ao contrário, a física tem o direito de raciocinar sobre propriedades capazes de serem concebidas, mas irredutíveis a movimentos de sistemas que possam ser desenhados e esculpidos?

Não há dúvida de que a história do desenvolvimento científico e o estudo psicológico da inteligência dos físicos permitem estabelecer numerosas aproximações entre as soluções que as diversas escolas propuseram a esses dois problemas. Mas tampouco é duvidoso que esses dois problemas sejam essencialmente independentes entre si e que a solução que um físico tiver adotado para um deles não determine, de modo algum, por uma necessidade lógica, a solução que deverá adotar para o outro.

Desejam exemplos que realcem nitidamente para todos essa independência dos dois problemas?

Existe física que tenha menos pretensão de *saber*, que seja mais nítida e puramente utilitária, que essa física inglesa, em que as teorias desempenham apenas o papel de *modelos*, sem nenhuma ligação com a realidade? Não foi essa física que seduziu imediatamente Henri Poincaré, quando este estudava a obra de Maxwell, que lhe inspirou páginas célebres, em que as teorias físicas eram consideradas unicamente como instrumentos cômodos para a pesquisa experimental? E não foram esses prefácios retumbantes do ilustre professor da Sorbone que suscitaram na França a crítica pragmatista da física, contra a qual Abel Rey se levanta hoje? No entanto, essa física inglesa é totalmente mecânica. Ela emprega exclusivamente as hipóteses imaginativas.

Por outro lado, de todas as doutrinas físicas, aquela que mais energicamente se recusou a reduzir todas as propriedades dos corpos a combinações de figuras geométricas e de movimentos locais foi, com certeza, a física peripatética. Existiu alguma, entretanto, que tenha reivindicado com maior firmeza o título de ciência do real?

Essas duas questões (Tem ou não a teoria física um valor enquanto saber? Deve ou não a teoria física ser mecanicista?) parecem ser, portanto, dois problemas logicamente independentes. Insistimos nessa independência porque ela poderia facilmente ser ignorada pelo leitor da *Théorie de la Physique*, se é que não o foi pelo próprio autor. Com efeito, parece que Rey considera o mecanicismo como uma doutrina que tem como consequência necessária uma absoluta confiança no valor objetivo das teorias da física. Ouçamos Rey (p.237):

"A questão de provar a objetividade da física nem mesmo se formula aqui. A objetividade da física é o ponto de partida, o postulado necessário. A menor dúvida sobre esse ponto, a menor incerteza, o mínimo de contingência, e se sai do mecanicismo."

"O grande problema", diz ele ainda (p.254-256), "que foi preciso resolver, em todos os sentidos, para manter a objetividade da física, o obstáculo que se venceu com dificuldade e não sem deixar às vezes uma inquietude permanecer por trás da solução, foi o de tornar a juntar as duas extremidades da cadeia, após tê-la rompido."

"O mecanicismo não conhece essa preocupação. Para ele o problema não existe, pois respeitou, pura e simplesmente, a tradição do Renascimento e o pensamento de Galileu, Descartes, Bacon, Hobbes."

"O mecanicismo considera, como terreno sólido de construção, a unidade profunda do inteligível e da experiência, do pensável e do representável, do racional e do perceptível."

Ora, essa identidade fundamental entre o real e o inteligível, essa *adaequatio rei et intellectus*, não seria justamente o postulado primeiro, e como que a fórmula essencial, dos peripatéticos, ou seja, da mais realista, da mais objetiva e, ao mesmo tempo, da menos mecanicista, da mais qualitativa das físicas?

A ligação indissolúvel que Abel Rey pensa estabelecer entre o mecanicismo e a crença no valor objetivo das teorias parece-nos, portanto, ser uma confusão. Essa confusão engendra outras.

"O mecanicismo estabelece uma continuidade direta e imediata entre a experiência e a teoria, e é esta a sua base inquebrantável a partir da qual se podem deduzir todas as suas outras características...A totalidade da teoria deriva da experiência, e pretende ser o decalque do objeto. É o objeto empírico que a fundamenta, modela, que lhe dá seus princípios, sua direção, cada passo de seu desenvolvimento, seus resultados e sua confirmação. Não existe nada na física teórica que não esteja apoiado na experiência, que não tenha derivado diretamente dela e que não seja confirmado por ela. É pelo

menos o que se pretende. E toda hipótese, tão arriscada e geral quanto possa ser, será fundamentada na experiência e será essencialmente uma *hipótese verificável*..."

"Ao mecanicismo também repugna toda generalização que seja somente uma visão do espírito. Toda generalização deve ser concebida sob a impulsão direta e de algum modo necessária da experiência. Deve-se generalizar quando a experiência não nos permite fazer outra coisa, quando a natureza quase generaliza por nós. Uma boa generalização, que não seja uma ficção perigosa da imaginação, será a extensão natural oferecida pela própria experiência quando se faz com que ela varie..."

"Este ponto de vista não mudou, de Newton a Berthelot." E a esse respeito, Abel Rey lembra a célebre frase de Newton: "*Hypotheses non fingo*". (pp.235-241)

O método que ele descreve aqui é, efetivamente, o método indutivo que Newton preconiza no *Scholium Generale*, no qual se completa o livro dos *Principia*. Mas este método é, como quer nosso autor, a "base inquebrantável do mecanicismo"? Quando Newton o formula, ele o faz num prefácio a algum tratado de física mecanicista? Muito pelo contrário. Ele enuncia as regras da física indutiva para opô-las, tal qual uma intransponível barreira, àqueles que o criticavam pela admissão da atração universal como uma *qualidade oculta*, por não explicá-la através de combinações de figuras e movimentos. As hipóteses que Newton se recusa a fantasiar são hipóteses mecânicas sobre a causa da gravidade, semelhantes àquelas que Descartes ou Huygens imaginam. Leia-se atentamente o *Scholium Generale*, e não mais se duvidará disso; menos ainda se duvidará, constatando-se, com a ajuda da correspondência de Huygens, que escândalo causou o método inaugurado por Newton para tratar a física entre os mecanicistas de seu tempo, os Huygens, os Leibniz, os Fatio de Duilliers. E não se poderá duvidar disso, se estudarmos o prefácio, admirável desenvolvimento do *Scholium Generale*, que Cotes colocou no começo da segunda edição dos *Principia*.

Há poucos anos, um geômetra, prematuramente arrebatado da ciência, reformulava, com tanta força quanto nitidez, as regras do método indutivo newtoniano. Foi um tratado de física mecanicista que Gustave Robin pretendeu compor seguindo esse método? De modo algum, mas antes um curso de termodinâmica, do qual toda hipótese mecânica se encontra rigorosamente excluída.

Tomemos, portanto, como verdadeiro que não existe nenhuma ligação necessária entre o método indutivo preconizado por Newton e a concepção mecanicista da física. Vemos com maior frequência os mecanicistas opondo-se a esse método do que reclamando-o para si. Pode-se (aliás, nós já o fizemos) criticar o método puramente indutivo, pode-se fazer um esforço para provar que ele é essencialmente impraticável, mas, em todo caso, essa crítica deve ser nitidamente distingüida da crítica do mecanicismo. Os resultados de uma importam pouco para a outra; a rejeição do método

newtoniano não implica a ruína das teorias mecanicistas. A adoção daquele não assegura o triunfo destas.

Uma confusão engendra facilmente outra. Daquela que acabamos de dissipar nasce uma segunda que, por sua vez, tentaremos dissipar:

"Na teoria mecanicista, a continuidade entre a física experimental e a física teórica é tão completa quanto poderíamos imaginar. Não há nem mesmo maneira de distingui-las: a experiência e a teoria se implicam e, finalmente, se identificam." (p.251)

"Sabemos em que consistem integralmente os elementos figurados que o mecanicismo coloca na base da física teórica. Sua denominação de mecanicismo decorre disso: são elementos já estudados pela mecânica, e pelas ciências que a mecânica pressupõe, a ciência do número e a geometria: espaços e tempos homogêneos, deslocamentos, forças, velocidades, acelerações, massas, eis as figuras, as representações com a ajuda das quais se propõe tornar inteligível o universo físico. Vimos há pouco por que a física, nos últimos três séculos, se depara com esses elementos, esses mesmos elementos, só esses elementos... Só existe o conhecimento que a experiência impõe. É, portanto, pelo fato da experiência ter-nos feito recair até o presente sobre esses elementos, pelo fato de que toda representação, toda percepção sensível, se deixa decompor nesses elementos, e recompor a partir desses mesmos elementos, e pelo fato de que também a análise e a síntese são objetivamente representáveis somente com eles e não o são a não ser com eles, é por tudo isso que temos o direito e a obrigação de colocá-los como os elementos primordiais da teoria física." (p.257)

É certo que as noções pelas quais se constroem as teorias mecanicistas, a saber, a figura e o movimento, são diretamente fornecidas pela experiência. Mas não é menos certo que a experiência nos forneceu também diretamente outras noções, por exemplo, o claro e o escuro, o vermelho e o azul, o quente e o frio. Enfim, é certo ainda que a experiência, deixada a sua própria sorte, não estabeleceu absolutamente nenhuma relação entre essas noções e aquelas. Ela nos apresenta as últimas como radicalmente distintas das primeiras, como essencialmente heterogêneas em relação a estas.

O ponto de partida das teorias mecanicistas está nesta afirmação: somente as noções da primeira categoria correspondem a objetos simples e irreduzíveis; as noções da segunda categoria correspondem a realidades complexas, que podem e devem resolver-se em conjuntos de figuras e movimentos.

Tal afirmação transcende evidentemente a experiência. Sem auxílio externo, a experiência nada poderia fazer nem a favor, nem contra essa afirmação.

Para que o contato entre uma tal proposição e a experiência possa estabelecer-se é preciso um intermediário. Este intermediário é o conjunto das hipóteses que substituem as noções de claro, vermelho, azul, quente, por

combinações mais ou menos complexas de idéias fornecidas pela geometria e pela mecânica. Entre os dados imediatos da observação e os enunciados da teoria mecânica não existe, portanto, continuidade imediata. De uns aos outros, a passagem é assegurada apenas pela operação muito arbitrária que supõe agrupamentos de átomos e moléculas, que imagina vibrações, trajetórias e choques, onde nossos olhos vêem somente objetos mais ou menos iluminados e diversamente coloridos, onde nossas mãos apreendem corpos mais ou menos quentes.

Uma tal teoria está bem menos autorizada a apresentar-se como continuação direta e forçosa da experiência que uma teoria como a energética, para a qual a luz permanece luz e o quente permanece quente; que persiste em distinguir essas qualidades da figura e do movimento, porque nos são dadas pela observação como diferentes da figura e do movimento; e que, sem impor-lhes uma redução que absolutamente a experiência não manifestou, limita-se a marcar, por meio de uma escala numérica, as diversas intensidades da claridade ou as diversas temperaturas.

Esse profundo abismo que separa as qualidades diretamente observáveis das grandezas geométricas e mecânicas, às quais se pretende reduzi-las, marca as teorias mecanicistas com um caráter tão essencial e evidente que todos os adversários do mecanicismo viram nisso o ponto fraco, o ponto vulnerável para onde dirigir seus ataques. A constante objeção endereçada por eles à doutrina que desejam abater é que ela deve, para transpor esse enorme abismo, combinar arbitrariamente os mais complexos agrupamentos, acumular as *massas ocultas* e os *movimentos ocultos*. Quando Newton lançou seu famoso *hypotheses non fingo*, era precisamente essa tarefa que se recusava a empreender. Parece-nos necessário dissipar uma última confusão:

"Os espíritos abstratos", diz Rey (p.379), "são mais afeitos a ordenar aquilo que já se adquiriu, os conhecimentos bem estabelecidos. Eles revestem a ciência de seu rigor lógico e de sua exatidão racional. Os outros, os espíritos imaginativos, ao contrário, são mais afeitos ao ato de descobrir. É sobretudo a eles, e a história das ciências o confirmaria facilmente, que devemos a maior parte das coisas de que temos conhecimento. Vê-se imediatamente que as teorias energéticas serão a obra do primeiro tipo de espírito, e servirão notavelmente para classificar e utilizar a ciência adquirida. As teorias mecanicistas serão a obra dos espíritos de orientação concreta e servirão sobretudo para a investigação e descoberta."

O método energético, portanto, seria essencialmente um método de exposição; o método mecanicista seria propriamente o método da invenção.

Essa antítese seduziu muitos dentre aqueles pensadores que refletiram sobre a teoria física. Abel Rey acredita na facilidade de justificá-la pela história, e a questão de saber seu valor é, efetivamente, uma questão de ordem histórica. Reconhecemos que, em nossa opinião, a história, cuidadosa e imparcialmente consultada, diria que esta antítese não tem fundamento.

Não pretendemos com isso que as teorias mecanicistas jamais tenham sugerido alguma descoberta. Seria fácil desmentir tal pretensão através de exemplos. E, além disso, a invenção não se deixa de modo algum submeter a regras absolutas. Qual é a suposição, por mais estranha e irracional que seja, da qual se possa afirmar que jamais produziu ou produzirá alguma descoberta?

Pretendemos apenas dizer que o mecanicismo não teve, de modo algum, no passado, a grande fecundidade que se lhe atribui. Somos vítimas de uma ilusão. Um grande número de descobertas foram produzidas por físicos que aderiram firmemente aos princípios das teorias mecanicistas; admite-se imediatamente que foram estes princípios que lhes sugeriram suas geniais invenções. Um estudo atento da obra desses físicos mostra, quase sempre, que essa conclusão não se segue. Em geral, não foram os métodos mecanicistas que lhes desvelaram as verdades com as quais enriqueceram a ciência, mas o espírito de comparação e de generalização, mas uma infinidade de considerações onde as doutrinas do mecanicismo não tiveram nenhuma participação. Longe de terem as combinações de figuras e movimentos facilitado o trabalho de invenção, é quase sempre com dificuldade que conseguiram compor os sistemas capazes de acomodar, bem ou mal, as verdades que tinham descoberto apesar de sua filosofia mecanicista. A obra, já bem antiga, de Descartes ou de Huygens poderia servir aqui de exemplo, do mesmo modo que a obra mais recente de Maxwell ou de Lord Kelvin.

Portanto, se desejamos realçar as vantagens do método mecanicista sobre o método energista, devemos renunciar a invocar seja uma continuidade mais perfeita com os dados da experiência, seja uma aptidão maior para suscitar a invenção. Existem duas vantagens, e somente duas, que se podem legitimamente enunciar:

Primeiramente, e esta vantagem não pode ser contestada por ninguém, as noções, que se supõem primeiras e irreduzíveis, por meio das quais o mecanicismo constrói suas teorias são extremamente pouco numerosas, menos numerosas que aquelas de toda doutrina energista. O mecanicismo cartesiano emprega somente a figura e o movimento; o atomismo admite a figura, o movimento e a massa; o dinamismo newtoniano acrescenta somente a força.

Em segundo lugar, as combinações de pequenos corpos que o mecanicismo substitui às qualidades diretamente fornecidas pela experiência diferem dos símbolos puramente numéricos que a energética emprega para marcar a intensidade dessas mesmas qualidades pelo fato de que estes edifícios se podem desenhar e esculpir. Esta vantagem não possui o mesmo valor para todos os espíritos; os espíritos abstratos mal a reconhecem; mas os espíritos imaginativos, que são mais numerosos, consideram-na como de primeira importância.

Com essas noções muito pouco numerosas, facilmente acessíveis aos espíritos que têm, na linguagem de Pascal, mais amplitude do que força, o mecanicismo pretende representar as leis da física tão bem quanto pode fazer o energetismo. Essa pretensão é justificada? Essa é uma questão de fato, a ser debatida entre os físicos. A opinião que se pode ter quanto ao valor enquanto *saber* que é preciso conceder à teoria física não tem por que intervir nessa discussão.

3.

Deixemos, portanto, de lado este exame do mecanicismo e tratemos do problema que é o objeto essencial da tese de Abel Rey.

Começemos formulando nitidamente esse problema. Será este o meio mais seguro de não nos enganarmos sobre o exato alcance dos argumentos do autor.

Ninguém duvida que a experiência nos ensina verdades. Ela bastaria, por si só, para acumular um conjunto de juízos acerca do Universo; esse conjunto constituiria o *conhecimento empírico*.

A teoria se apodera das verdades descobertas pela experiência; ela as transforma e organiza em uma doutrina nova, que é a *física racional* ou *física teórica*.

Qual é exatamente a natureza das diferenças entre a física teórica e o conhecimento empírico?

A teoria é simplesmente um artifício que nos torna as verdades do conhecimento empírico mais fáceis de serem manipuladas, que nos permite fazer delas um uso mais rápido e mais aproveitável em nossa ação sobre o mundo exterior, mas que não nos ensina nada a respeito desse mundo que não tenha sido já ensinado pela experiência?

Ou ainda, ao contrário, a teoria nos ensina, quanto ao real, alguma coisa que a experiência não nos ensinou e que não poderia ter ensinado, alguma coisa que seja transcendente ao conhecimento puramente empírico?

Se é preciso responder afirmativamente a esta última questão, poderemos dizer que a teoria física é *verdadeira*, que ela tem um *valor enquanto saber*. Se, ao contrário, é a primeira questão que nos força a responder: sim, devemos dizer também que a teoria física não é *verdadeira*, mas simplesmente *cômada*, que ela não tem nenhum valor enquanto saber, mas somente um *valor prático*.

Para dissolver esse dilema, dissemos que Abel Rey instituiu uma pesquisa junto aos homens de ciência que examinaram de perto o valor da teoria física. Sigamos com ele essa pesquisa.

A primeira opinião recolhida é a de Rankine. Ela se resume no seguinte (p.65): "A experiência, para fornecer as bases sólidas, tangíveis da ciência, para construir uma ciência que seja um *saber*; o matematicismo, para

pensamos que ele aparecerá claramente nestas páginas. Agradeceremos somente ao autor pelo grande esforço que realizou para ordenar os pensamentos que tínhamos semeado aos quatro ventos. Esse esforço poderia ter sido minimizado se, ao invés de consultar somente os diversos artigos onde nossa doutrina tinha sido ensaiada, ele tivesse lido o trabalho onde nossa opinião sobre a *Teoria Física, seu Objeto e sua Estrutura* procurou afirmar-se em sua plenitude.

Após ter passado em revista os adversários do mecanicismo, Abel Rey passa a consultar aqueles que possuem diante dessa doutrina uma atitude simplesmente crítica. É Henri Poincaré quem falará em nome deles.

Rey se esforçou, com muito talento, para estabelecer uma perfeita continuidade nas afirmações que Poincaré formulou em diferentes épocas a respeito do valor da teoria física. Receamos que essa unidade seja mais artificial que real. Parece-nos que, para bem compreendê-las, as opiniões do ilustre matemático formam dois grupos separados por um abismo. primeira vista, esses grupos parecem que se contradizem formalmente; mas essa atitude está longe de não ser razoável, acreditamos que ela é perfeitamente justificada por uma lógica superior; o que teremos a oportunidade de mostrar a seguir.

O estudo dos físicos ingleses, particularmente de Maxwell, levou Poincaré a criticar os princípios sobre os quais repousam as teorias físicas. Essa crítica o levou às conclusões que ele formulou com a clareza que lhe é peculiar. "A experiência é a única fonte de verdade. Somente ela pode ensinar-nos algo de novo, só ela pode dar-nos a certeza. "As hipóteses sobre as quais repousa a teoria física "não são nem verdadeiras, nem falsas", são apenas "convenções cômodas". Seria, portanto, insensato acreditar que elas acrescentam algum saber ao conhecimento puramente empírico.

A crítica lógica, que ele tinha conduzido com um rigor inexorável, encurralava Poincaré nessa conclusão totalmente pragmatista: a física teórica é apenas uma coleção de receitas. Contra esta proposição, ele experimentou uma espécie de sentimento de revolta, proclamando sonoramente que a teoria física nos dava outra coisa além do simples conhecimento dos fatos, que ela nos fazia descobrir as relações reais que as coisas têm entre si.

Parece-nos que tal é a história, resumida sumariamente, do juízo de Poincaré sobre o valor da teoria física.

Vejamos agora quais são os juízos trazidos, nesse mesmo processo, pelos continuadores do mecanicismo.

Como Abel Rey define o espírito do mecanicismo moderno, que se opõe fortemente ao espírito do mecanicismo dogmático que professavam os Descartes, os Huygens, os Boscovich e os Laplace?

"O mecanicismo não procura mais fornecer uma figuração *ne varietur* de seu objeto. Ele se apresenta, ao contrário, essencialmente como um método de pesquisa, de descoberta e de progresso. Tudo o que o mecanicismo pretende é o direito de usar representações figurativas, bem

entendido, modificáveis, à medida que a natureza se revela a nós de uma maneira mais completa...A física mecanicista não reivindica a unidade atual de um esquema mecânico; reivindica o direito de se servir de esquemas mecânicos para a interpretação e sistematização dos fenômenos físico-químicos." (p.225)

Assim, o mecanicista, verdadeiramente consciente dos procedimentos de seu próprio pensamento, não apresenta mais suas combinações de figuras e movimentos como realidades subjacentes às qualidades diretamente percebidas. Ele vê aí apenas, segundo a expressão da escola inglesa, *modelos* que tornam mais fácil a compreensão dos conhecimentos empíricos já adquiridos, que facilitam a descoberta de novos fatos. Ele não os toma senão como construções frágeis e provisórias, como *andaimas*, sem ligação essencial com a construção para cuja conclusão trabalha.

Entretanto: "A conclusão a que chega a análise do mecanicismo é o objetivismo desse sistema. O mecanicismo é, se quisermos, a crença na realidade da teoria física (quando esta foi controlada), atribuindo-se, nessa fórmula, às palavras *crença* e *realidade* o mesmo valor que nesta outra fórmula: a crença na realidade do mundo exterior." (p.268)

"O mecanicismo pretende encaminhar-se, em meio a conjecturas insuficientes e errôneas, para a reprodução da experiência física total. Ao final, devemos ter a descrição completa do universo material desde os fenômenos elementares que constituem sua trama até os detalhes complexos sob os quais aparece aos nossos sentidos."

A pesquisa de Abel Rey termina aí. Podemos levá-la mais longe e interrogar o próprio autor. A obra que ele acaba de concluir lhe confere seguramente o direito de ser ouvido neste debate. Quais são, pois, as conclusões a que conduziram suas pacientes pesquisas nos trabalhos de outros e em suas próprias meditações?

Ele declara (p.IV-V) "que todos os físicos admitem um fundo de verdades necessárias e universais em contínuo aumento; que esse fundo de verdade é o conjunto dos resultados puramente experimentais." Admite "que as teorias são apenas instrumentos de trabalho e sistematizações; o que não significa diminuir-lhes o papel, pois elas redundam ser, desta forma, o motor de toda descoberta e de todo progresso na ciência física."

"A teoria física", diz ainda (p.354), "não tem em si mesma e independentemente da experiência um valor real. Tem somente um valor metodológico... Ela é o instrumento necessário do físico; um físico não faz física sem uma teoria, seja ela qual for."

As teorias "não podem pretender – pelo menos atualmente – ter senão um valor técnico, utilitário, e não um valor objetivo. A teoria física, ou melhor, a física teórica, conjunto de teorias físicas de uma mesma forma, é apenas um *organon*." (p.355)

"Se as teorias físicas são essencialmente métodos, concebe-se facilmente que elas possam ser múltiplas... A multiplicidade, as divergências

não existem e não podem existir entre os físicos a não ser no domínio da hipótese... A hipótese, por sua vez, tem apenas um papel enquanto método de pesquisa. As teorias físicas não são múltiplas e divergentes senão porque têm, antes de mais nada, um valor metodológico e, por isso, se originam do arbitrário do espírito, da escolha da hipótese, qualquer que seja o nome que o dissimule." (p.357-358)

Não há em física outras verdades além dos fatos da experiência. As teorias são apenas meios de classificação e instrumentos de pesquisa. A física pode então usar simultaneamente teorias distintas e incompatíveis; a física teórica tem apenas um valor técnico e utilitário. Tais são as afirmações às quais Abel Rey é logicamente conduzido por sua crítica aos procedimentos que a física utiliza e por seu exame das diversas opiniões dos físicos. Que pragmatista poderia desejar conclusões mais favoráveis? Não parece que o autor se aferra fortemente às opiniões daqueles que definem as teorias físicas como receitas que pretendem guiar nossa ação sobre a natureza e o fazem com perfeição?

No entanto, como nos equivocariamos sobre o verdadeiro pensamento do autor se nos limitássemos a tais afirmações! Ele seria colocado entre os mais zelosos partidários da filosofia da ação, enquanto seu livro foi composto precisamente para responder ao pragmatismo, enquanto a proposição que pretende justificar se formula nos seguintes termos: "As ciências físico-químicas têm um valor real enquanto *saber*. Por *valor enquanto saber*, ou valor teórico, entendo seu valor em relação a um conhecimento cada vez mais extenso e mais profundo da natureza, e excluo seu valor em relação à utilização prática das forças naturais." (p.359)

Os juízos que recolhemos textualmente no escrito de Abel Rey exprimem, portanto, uma parte do pensamento do autor, mas apenas uma parte. Formulam conclusões que foi obrigado a enunciar com o desenvolvimento de sua investigação e de seu estudo crítico. Isto não é senão a superfície de sua doutrina, muito clara e muito aparente, num primeiro exame, mas parece-me que sem ligação com o próprio fundo de sua razão. Trata-se de um pensamento adventício e como que imposto de fora. Sob este pensamento existe um outro, que surge espontaneamente das partes mais íntimas do entendimento; e este pensamento subjacente suporta impaciente o peso daquela parte que o recobre. Ele protesta contra as afirmações que a crítica lógica lhe pretende impor, e o tom formal e preciso dessas afirmações não é suficiente para emudecer os desmentidos que a natureza lhes opõe.

Desde as primeiras páginas de seu livro (p.IV-V), Abel Rey proclama, "juntamente com todos os físicos, que existe um fundo de verdades necessárias e universais em contínuo aumento e que esse fundo de verdades é formado pelo conjunto dos resultados experimentais." O lógico que está dentro dele sabe, entretanto, muito bem que todo resultado da experiência é particular e contingente; mas a natureza protesta contra a lógica; ela afirma

que as verdades particulares e contingentes reveladas ao físico pelas observações são as formas concretas sob as quais se manifestam verdades necessárias e universais, ainda que seus métodos não lhe permitam contemplar face a face tais verdades.

A crítica lógica não chega a ver nas teorias físicas senão instrumentos. Ora, um artesão emprega o instrumento que lhe convém, dispõe dele como lhe agrada, é livre para rejeitá-lo e adotar um outro. A comodidade é seu único guia. Contanto que sua obra seja bem feita, que importância tem o procedimento que lhe pareceu mais apropriado para realizá-la? Assim acontece com as teorias físicas. O físico pode construí-las arbitrariamente; pode mudá-las quando lhe parecer melhor, pode recorrer sucessivamente a todas as escolas, hoje à atomista, amanhã à dinamista, depois de amanhã à energetista. Contanto que ele invente, contanto que descubra fatos novos, ninguém tem o direito de acusá-lo de incoerência, ninguém pode censurar-lhe as palinódias.

Mas a natureza protesta mais uma vez contra esses ensinamentos da crítica: "A teoria física não é uma sugestão individual, da qual cada cientista pode servir-se ou que ele pode rejeitar como quiser... Se várias formas teóricas estão hoje presentes, elas não se opõem como o sonho de um indivíduo ao sonho de outro. Elas se opõem como a concepção de uma escola à concepção de outra, isto é, como qualquer coisa que pretende ser estável, reunir os espíritos num mesmo caminho." (p.354)

Que direito tem um procedimento puramente técnico de pretender impor-se a toda uma escola? Que direito, sobretudo, tem ele de se fazer universalmente adotado, de tal sorte que todos os artesãos do mundo sejam obrigados a realizar a mesma tarefa da mesma maneira? Entretanto, esta pretensão à unidade universal, ridícula se ela não for mais que um instrumento, um *organon*, a teoria física não hesita em afirmar: "A fisionomia atual da física não é aquela que ela apresentará sempre. Tudo leva a pensar, ao contrário, que ela é devida apenas a contingências relativamente transitórias... As divergências, as próprias oposições, que se notam entre as teorias físicas, irão, pois, atenuando-se à medida que a física progredir; e se atenuaram à medida que a física progrediu. Não dizem respeito à natureza da física, e sim à fase inicial de seu desenvolvimento." (p.375)

Admitamos isso. Suponhamos que todas essas divergências sejam apagadas; que se tenha chegado finalmente a construir essa teoria única, aceita por todos, à qual aspiram todos os físicos. Essa teoria se beneficiará do consentimento universal; sua essência não poderá, entretanto, ser mudada. Ora, a crítica lógica nos ensina que a teoria física é essencialmente apenas um meio de classificação, que ela não contém nenhuma parcela de verdade que não lhe tenha sido trazida pela experiência. Quando todos os físicos tiverem adotado uma mesma teoria, na qual nenhuma lei experimental for omitida, que será a física teórica? Ela será, agora e sempre, apenas o conhecimento empírico colocado em ordem. A ordem se estenderá a todos

os conhecimentos empíricos; o modo de classificação de onde procede essa ordem será empregado com unanimidade pelos homens de ciência. Entretanto, a física teórica, mais comodamente manejável, mais prática que o conhecimento empírico, totalmente bruto e inorgânico, não terá *valor enquanto saber* diferente desse.

Assim fala a crítica, mas a natureza eleva imediatamente sua voz para desmenti-la:

"As teorias constituem o domínio da hipótese, isto é... das *aproximações sucessivas da verdade*; o que supõe uma verdade da qual elas se aproximam cada vez mais...É legítimo falar de um espírito homogêneo, ideal das ciências físicas; ele promete, ao mesmo tempo, uma lógica positiva futura das ciências físicas e uma filosofia *humana* da matéria e de seu conhecimento." (p.V)

A crítica lógica do método empregado pela física e os testemunhos dos físicos conduziram Abel Rey a esta afirmação: a teoria física é apenas um instrumento apropriado para o crescimento do conhecimento empírico. Nada nela é verdadeiro, apenas os resultados da experiência. Mas a natureza protesta contra esse juízo. Ela declara que existe uma verdade universal e necessária; que a teoria física, pelo incessante progresso que a estende continuamente, tornando-a sempre mais unitária, provê uma consciência, a cada dia mais perfeita, dessa verdade, de sorte que ela constitui uma verdadeira filosofia do universo material.

4.

A leitura da obra de Abel Rey mostrou que esse autor toma alternativamente duas atitudes distintas e quase opostas entre si, uma atitude refletida e crítica, uma instintiva e espontânea. A reflexão crítica obriga-o a declarar que a física teórica conhece apenas verdades, forçosamente contingentes e particulares, reveladas pela experiência; que a teoria, simples instrumento de classificação e descoberta, não acrescenta nenhum saber ao conhecimento puramente empírico. Ao contrário, uma intuição instintiva e espontânea força-o a declarar que existe uma verdade absoluta e universal, e portanto transcendente à experiência; que o progresso, pelo qual a teoria física se torna continuamente mais ampla e mais unitária, se orienta em direção a uma certa consciência, a cada dia mais precisa e mais completa, dessa verdade.

Estes dois desenvolvimentos, em sentido opostos, da razão de Abel Rey, serão declarados contraditórios, serão condenados em nome da lógica? Certamente não. Não os condenaremos, assim como não condenamos as duas tendências opostas que reconhecemos no pensamento dos continuadores do mecanicismo, assim como não taxamos de incoerência as proposições formuladas por Poincaré, seja para recusar, seja para conceder um valor

objetivo à teoria física. Em Mach, Ostwald, Rankine, e em todos aqueles que investigaram a natureza da física teórica, podemos notar estas mesmas duas atitudes, da qual uma parece ser o contrapeso da outra. Seria pueril pretender que aqui há apenas incoerência e absurdo. Está claro, pelo contrário, que esta oposição é um fato fundamental, essencialmente ligado à própria natureza da teoria física, fato que precisamos lealmente constatar e, se possível, explicar.

Quando o físico, dirigindo sua atenção para a ciência que construiu, submete a um rigoroso exame os diversos procedimentos que empregou para construí-la, ele não descobre nada que possa introduzir, na estrutura do edifício, a menor parcela de verdade, a não ser a observação experimental. Das proposições que pretendem enunciar fatos da experiência, e destas somente, pode-se dizer: *é verdadeiro* ou *é falso*. Destas, e somente destas, pode-se afirmar que não poderiam comportar o ilogismo e que, de duas proposições contraditórias, pelo menos uma deve ser rejeitada. Quanto às proposições introduzidas pela teoria, não são *nem verdadeiras, nem falsas*, são somente *cômodas* ou *incômodas*. Se o físico julga cômodo construir dois capítulos diferentes da física por meio de hipóteses que se contradizem, é livre para fazê-lo. O princípio de contradição pode servir para julgar sem apelo o verdadeiro e o falso; ele não tem nenhum poder para decidir a respeito do *útil* ou do *inútil*. Obrigar, portanto, a teoria física a manter em seu desenvolvimento uma unidade lógica rigorosa seria exercer sobre a inteligência do físico uma tirania injusta e insuportável.

Quando, após ter submetido a este minucioso exame a ciência que o ocupa, o físico concentra-se em si mesmo, quando toma consciência das tendências que dirigem os procedimentos de sua razão, reconhece imediatamente que todas suas aspirações mais poderosas e mais profundas são frustradas pelas desesperadoras constatações de sua análise. Não, ele não consegue decidir-se a ver na teoria física somente um conjunto de procedimentos práticos, uma caixa com ferramentas. Não, ele não pode crer que ela somente classifique os conhecimentos acumulados pela ciência empírica, sem transformar em nada a natureza desses conhecimentos, sem imprimir-lhes um caráter que a experiência isolada não tinha aí impresso. Se não houvesse na teoria física senão aquilo que sua própria crítica lhe fez descobrir nela, ele cessaria de consagrar seu tempo e seus esforços a uma obra de importância tão reduzida. *O estudo do método físico é impotente para revelar ao físico a razão que o leva a construir a teoria física.*

Nenhum físico, por mais positivista que supusermos que seja, pode esquivar-se dessa confissão; mas será preciso que seu positivismo seja bem rigoroso, mais rigoroso mesmo que aquele que Abel Rey se atribui, para que não vá além dessa confissão; para que não afirme que seus esforços em direção a uma teoria física sempre mais unitária e mais perfeita sejam razoáveis, ainda que a crítica do método físico não tenha podido descobrir

sua razão. Será bastante difícil não submeter esta razão à exatidão das seguintes proposições:

A teoria física nos confere um certo conhecimento do mundo exterior, que é irreduzível ao conhecimento puramente empírico. Este conhecimento não vem nem da experiência, nem dos procedimentos matemáticos que a teoria emprega, de sorte que a dissecação puramente lógica da teoria não poderia descobrir a fissura pela qual ela se introduziu no edifício da física. Por uma via, cuja realidade o físico não pode negar, assim como não lhe pode descrever o curso, este conhecimento deriva de uma verdade diferente das verdades que nossos instrumentos são aptos a apoderar-se. A ordem na qual a teoria organiza os resultados da observação não encontra sua plena e inteira justificação nas suas características práticas ou estéticas. Adivinhamos, ao contrário, que ela é ou tende a ser uma *classificação natural*. Por uma analogia, cuja natureza escapa ao alcance da física, mas cuja existência se impõe como certa ao espírito do físico, adivinhamos que ela corresponde a uma certa ordem sobreeminente.

Numa palavra, o físico é forçado a reconhecer que *não seria razoável trabalhar para o progresso da teoria física, se essa teoria não fosse o reflexo, cada vez mais nítido e mais preciso, de uma metafísica. A crença numa ordem transcendente à física é a única razão de ser da teoria física.*

A atitude, alternativamente hostil ou favorável, que todo físico assume em relação a essa afirmação, resume-se nestas palavras de Pascal: "Nós possuímos uma impotência de provar invencível por todo dogmatismo; temos uma idéia da verdade invencível por todo pirronismo."

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

Nesta bibliografia reunimos referências às principais obras de Pierre Duhem sobre filosofia e história da ciência e indicamos alguns trabalhos importantes de seus estudiosos e comentadores.

A. Obra filosófica e histórica de Pierre Duhem

1. "Quelques Réflexions au sujet des Théories Physiques", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. Série, Tomo I, 1892.
2. "Notation Atomique et Hypothèses Atomistiques", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. Série, Tomo I, 1892.
3. "Une Nouvelle Théorie du Monde Inorganique", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. Série, Tomo II, 1893.
4. "Physique et Métaphysique", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. Série, Tomo II, 1893.
5. "L'Ecole Anglaise et les Théories Physiques", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. Série, Tomo II, 1893.
6. "Quelques Réflexions au sujet de la Physique Expérimentale", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. Série, Tomo III, 1894.
7. "Les Théories de L'Optique", *Revue des Deux-Mondes*, Tomo CXXIII, 1894, p.94 e seg.
8. "Fragment d'un Cours d'Optique Premier Fragment: Le Principe de Huygens", *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, Tomo XVIII, 2a. parte, 1894.
9. "Fragments d'un Cours d'Optique - Deuxième Fragment: Coup d'oeil sur L'Optique Ancienne", *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, Tomo XIX, 2a. parte, 1895.
10. "Les Théories de la Chaleur - I. Les Précurseurs de la Thermodynamique", *Revue des Deux-Mondes*, Tomo CXIX, 1895.
11. "Les Théories de la Chaleur - II. Les Créateurs de la Thermodynamique", *Revue des Deux-Mondes*, Tomo CXXV, 1895.

12. "Les Théories de la Chaleur III.Chaleur et Mouvement", *Revue des Deux-Mondes*, Tomo CXXX, 1895.

13. "Fragments d'un Cours d'Optique Troisième Fragment: L'Optique de Fresnel", *Annales de la Société Scientifique de Bruxelles*, Tomo XX, 2a. parte, 1896.

14. "L'Évolution des Théories Physiques du XVIIe. Siecle jusqu'à nos jours", *Revue des Questions Scientifiques*, 2a. Série, Tomo V, 1896.

15. "Usines et Laboratoires", *Revue Philomathique de Bordeaux*, Setembro, 1899.

16. "Théorie et Pratique", *Revue Philomathique de Bordeaux*, Junho, 1900.

17. "Archimède a-t-il connu le Paradoxe Hydrostatique?", *Bibliotheca Mathematica*, 3o. Fascículo, Vol.I, 1900.

18. *Le Mixte et la Combinaison Chimique. Essai sur L'Évolution d'une Idée*, Paris, C.Naud, 1902.

19. *Les Théories Électriques de J.C.Maxwell. Étude Historique et Critique*, Paris, Hermann, 1902.

20. *L'Évolution de la Mécanique*, Paris, A.Joanin, 1903.

21. "Analyse de l'ouvrage de Ernst Mach: La Mécanique, Étude Historique et Critique de son Développement", *Bulletin des Sciences Mathématiques*, 2a. Série, Tomo XXVII, 1903.

22. "Léonard de Vinci et la Composition des Forces Concourantes", *Bibliotheca Mathematica*, 3o. Fascículo, Vol.IV, 1904.

23. "De L'Accélération exercée par une Force Constante", *Comptes Rendus du Deuxième Congrès de Philosophie*, Genebra, 1904.

24. "Un Ouvrage perdu cité par Jordanus de Nemore: Le Philotechnes", *Bibliotheca Mathematica*, 3o. Fascículo, Vol.V, 1905.

25. *Les Origines de la Statique*, 2 Vols., Paris, Hermann, 1905-1906.

26. "Physique de Croyant", *Annales de Philosophie Chrétienne*, Ano 77, 4a. Série, Tomo I, 1905-1906.

27. *La Théorie Physique, son Objet et sa Structure*, Paris, Chevalier et Rivière, 1906.

28. *Etudes sur Léonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, Vol.I, Paris, Hermann, 1906.

29. "Sulla Origine della Statica", *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, Vol.XV, 1906.

30. "Leonardo da Vinci", *Rendiconti della Reale Accademia dei Lincei*, Vol.XVI, 1907.

31. *Sozein ta Phainomena. Essai sur la Notion de Théorie Physique de Platon a Galilée*, Paris, Hermann, 1908. (Há tradução em português nos *Cadernos de História e Filosofia da Ciência*, Suplemento 3, CLE-Unicamp, Campinas, 1984.)

32. "La Valeur de la Théorie Physique, à propos d'un livre récent", *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, Vol.1, 1908.

33. "Sur un Fragment, inconnu jusqu'ici, de L'Opus Tertium de Roger Bacon", *Archivium Franciscanum Historicum*, annus I, 1908.

34. *Un Fragment Inédit de L'Opus Tertium de Roger Bacon, précédé d'une Étude sur ce Fragment*, Ad Claras Aquas (Quaracchi), ex typographia Collegii S.Bonaventurae, 1909.

35. *Études sur Léonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, Vol.II, Paris, Hermann, 1909.

36. "Un Précurseur Français de Copernic: Nicole Oresme", *Revue Générale des Sciences Pures et Appliquées*, Novembro, 1909.

37. "Du Temps où la Scolastique latine a connu la Physique d'Aristote", *Revue de Philosophie*, Ano 9, Tomo II, 1909.

38. "La Physique Néo-platonicienne au Moyen Age", *Revue des Questions Scientifiques*, 3a. Série, Tomo XVIII, 1910.

39. "Les Temps selon les Philosophes Hellènes", *Revue de Philosophie*, Ano 11, Tomo II, 1911.

40. "La Nature du Rasoinnement Mathématique", *Revue de Philosophie*, Ano 12, Tomo II, 1912.

41. "Examen Logique de la Théorie Physique", *Revue Scientifique*, Ano 51, 1913.

42. *Études sur Léonard de Vinci, ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, Vol.III, Paris, Hermann, 1913.

43. *Le Système du Monde. Histoire des doctrines cosmologiques de Platon à Copernic*, 12 Vols., Paris, A.Hermann et fils, 1913-1919.

B. Obras sobre Duhem

1. Amsterdamski,S., *Between Experience and Metaphysics*, Dordrecht; Boston, D.Reidel, 1975.

2. Ariew, Roger, "The Duhem Thesis", *The British Journal for the Philosophy of Science*, Vol.35, No.4, 1984.

3. Boudot, M., "Le Rôle de L'Histoire des Sciences selon Duhem", *Les Études Philosophiques*, Vol.22, No.4, 1967.

4. Boutroux, E., *De la Contingence des Lois de la Nature*, Paris, Félix Alcan, 1908.

5. Chiappin, José R.N., *Duhem's Theory of Science: an interplay between philosophy and history of science*, tese de doutoramento, Dept. of History and Philosophy of Science, University of Pittsburgh, Pittsburgh, 1989.

6. Darbon, A., "L'Histoire des Sciences dans L'Oeuvre de P. Duhem", *L'Oeuvre Scientifique de Pierre Duhem*, Paris, Albert Blanchard, 1928.

7. Giannoni, Carlo, "Quine, Gruenbaum, and the Duhemian Thesis", *Nous*, 1, 1967.

8. Gruenbaum, A., "The Duhemian Argument" *Philosophy of Science*, 27, No.1, 1960.

9. Gruenbaum, A., "Is it Never Possible to Falsify a Hypothesis Irrevocably?", *Philosophical Problems of Space and Time*, Boston; Dordrecht, D. Reidel, 1974, Cap.17.

10. Hesse, Mary, *Knowledge and Necessity*, Londres, Macmillan, 1970.
11. Kolakowski, Leszek, *Positivist Philosophy (From Hume to Vienna Circle)*, Londres, Penguin Books, 1972.
12. Krips, H., "Epistemological Holism: Duhem or Quine?", *Studies in History and Philosophy of Science*, 13, No.3, 1982.
13. Lakatos, I., "History of Science and its Rational Reconstructions" in R.C.Buck e R.S.Cohen (eds.), *Boston Studies in the Philosophy of Science*, VIII, Dordrecht; Boston, D. Reidel, 1971.
14. Lakatos, I., "O Falseamento e a Metodologia dos Programas de Pesquisa Científica" in I.Lakatos e A.Musgrave (eds.) *A Crítica e o Desenvolvimento do Conhecimento*, São Paulo, Cultrix-EDUSP, 1979.
15. Laudan, L., "Gruenbaum on "The Duhemian Argument"", *Philosophy of Science*, 32, 1965.
16. Laudan, L., "A Confutation of Convergent Realism", *Philosophy of Science*, 48, 1981.
17. Losee, J., *Introdução Histórica à Filosofia da Ciência*, Belo Horizonte, Ed. Itatiaia-EDUSP, 1979.
18. Lowinger, A., *The Methodology of Pierre Duhem*, Nova Iorque, Columbia Univ. Press, 1941.
19. Mariconda, Pablo R., *A Teoria da Ciência em Pierre Duhem*, tese de doutoramento, Depto. de Filosofia, F.F.L.C.H. da U.S.P., São Paulo, 1986.
20. Martin, R.N.D., "The Genesis of a Medieval Historian: Pierre Duhem and the Origins of Statics", *Annals of Science*, 33, 1976.
21. Nye, M.J., "The Moral Freedom of Man and the Determinism of Nature: the Catholic Synthesis of Science and History in the Revue des Questions Scientifiques", *British Journal for the History of Science*, 9, No.3, 1976.
22. Nye, M.J., "The Boutroux Circle and Poincaré's Conventionalism", *Journal of History of Ideas*, Vol.XL, No.1, 1979.

23. Paul, H.W., "The Crucifix and the Crucible: Catholic Scientists in Third Republic", *Catholic Historical Review*, Vol.58, 1972.

24. Paul, H.W., *The Edge of Contingency: French Catholic Reaction to Scientific Change from Darwin to Duhem*, Gainesville, University Press of Florida, 1979.

25. Poirier, R., "L'Épistémologie de Pierre Duhem et sa Valeur Scientifique", *Les Études Philosophiques*, Vol.22, No.4, 1967.

26. Quine, W.V.O., "Dois Dogmas do Empirismo", *Os Pensadores*, Vol. 10, São Paulo, Abril Cultural, 1975.

27. Quinn, Philip, "What Duhem Really Meant", *Boston Studies in the Philosophy of Science*, XIV,

28. Rey, A., *La Théorie de la Physique chez les Physiciens Contemporains*, Paris, Félix Alcan, 1930.

29. Wedeking, G., "Duhem, Quine and Gruenbaum on Falsification", *Philosophy of Science*, 1969.

