Ciência e Filosofia, São Paulo, (4): 13-37, 1989.

ALGUMAS REFLEXÕES SOBRE AS TEORIAS FÍSICAS[1]

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 constituida, 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, libre 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

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.

Daí 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 sustituir 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 consequentemente enunciar duas hipóteses diferentes, construir duas teorias diferentes e chegar a diferentes consequências.

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 consequência, 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 comprender–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 proibe qualquer procedimento exceto o traço, e peçamos que ele exprima a cor do objeto que ele tem diante dos olhos: ele não poderá fazêlo. 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 tem 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

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 nâo 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.

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 si[5], 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 , *Eletricité 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 Körpern 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. queles 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 inextrincável. 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.