PANORAMA DA FÍSICA CONTEMPORÂNEA A PARTIR DE UMA PERSPECTIVA PRAGMÁTICA E ALGUNS DE SEUS REFLEXOS SOBRE A QUESTÃO FILOSÓFICA DA CAUSALIDADE

Paulo R. Margutti Pinto
UFMG

I. Introdução

Em uma série de textos preliminares, estudei o problema da causalidade aplicado à Física Galilêica, do ponto de vista da Filosofia Moderna¹. Nestes estudos, as principais conclusões a que cheguei foram as seguintes: 1^a) Pelo menos no caso dos filósofos considerados, a saber, Descartes, Hobbes e Hume, a questão da causalidade no universo físico leva a aporias filosóficas; 2^a) É bem possível que, fazendo as devidas adaptações terminológicas e conceituais, os demais filósofos racionalistas e empiristas da época considerada estejam na mesma situação, ou seja, tenham de enfrentar aporias filosóficas para explicar a transmissão do movimento no mundo físico; 3^a) Em suas linhas gerais, a análise sugere que a questão filosófica sobre a explicação da causalidade no universo físico esteja mal-explicitada e deva ser substituída por outra, mais adequada.

Tendo em vista que as aporias dos Filósofos Modernos em relação a Física Moderna se originam de sua tentativa de justificar o método de Galileu, a exposição que farei compreenderá as seguintes etapas. Na primeira, mostrarei os principais aspectos do método de Galileu que são relevantes para a minha investigação. Na segunda, mostra-

rei as principais questões filosóficas mal-explicitadas que podem ser geradas pela tentativa de justificar filosoficamente o método de Galileu. Na terceira, tentarei substituir a questão filosófica moderna por uma questão alternativa, para a qual apresentarei um esboço de resposta. Essa questão alternativa pretende mostrar que a eliminação do problema filosófico da causalidade, tal como foi enfrentado pelos filósofos modernos, constitui uma boa hipótese de trabalho. Na quarta, procurarei dar uma visão panorâmica da física contemporânea e, a partir daí, de alguns reflexos que esta situação cria sobre o problema filosófico da causalidade. Esta visão complementar a análise feita na terceira etapa, revelando novas facetas da concepção que proponho para a física contemporânea. Na quinta e última etapa, formularei as principais conclusões que podem ser extraídas depois de realizado o percurso representado por esta exposição. Para finalizar, é importante observar que, dada a extensão e a complexidade do assunto, esse texto contém, no máximo, indicações gerais de trabalho para uma sistematização posterior.

II - O método de Galileu e suas principais características

A análise da questão em que estamos interessados exige uma breve descrição do método utilizado por Galileu. Tomemos, para tanto, o célebre experimento que ele efetua para determinar a relação entre a distância percorrida por um corpo em queda livre e o tempo gasto por este corpo para percorrer tal distância.

Inicialmente, com o auxílio de figuras geométricas representadas por segmentos de retas e triângulos, Galileu demonstra a seguinte proposição: "Se um móvel, partindo do repouso, cair com um movimento uniformemente acelerado, os espaços por ele percorridos em qualquer tempo estão entre si na razão dupla dos tempos, a saber, como os quadrados desses mesmos tempos" (Galileu 1638: 171). Trata-se de uma demonstração puramente matemática, obtida a partir da definição galileana de movimento uniformemente acelerado. Esta demonstração constitui apenas a primeira parte do método. Resta agora comprovar experimentalmente as conclusões obtidas.

Para efetuar a comprovação, o cientista italiano realizou o seguinte experimento. Como o movimento em queda livre é muito rápido, ele usou um plano inclinado, raciocinando da seguinte maneira. O movimento de um corpo em queda livre pode ser considerado equivalente ao de um corpo que corre em um plano inclinado que esteja na posição vertical. Assim, os fatos observados para movimentos no plano inclinado poderiam ser generalizados para movimentos em queda livre. A realização de medidas cuidadosas das distâncias percorridas pelo corpo no plano inclinado, a partir do repouso, e comparando-as com as do tempo gasto para percorrer estas distâncias, forneceriam a base para o estabelecimento de uma relação matemática entre as grandezas envolvidas. Para medir o tempo de maneira mais rigorosa, Galileu utilizou aquilo que poderíamos chamar um 'relógio de água', que fornecia o tempo decorrido por intermédio da quantidade de água que escoava por um orifício enquanto o corpo descia

pelo plano inclinado. Assim, a cada vez que o tempo decorrido era de 1,0 s, por exemplo, Galileu mediu em metros a distância percorrida pelo corpo no plano inclinado, obtendo valores cuja média aritmética gira em torno de 4,9 m. Depois, a cada vez que o tempo era de 2,0 s, ele mediu a distância percorrida pelo corpo, obtendo valores cuja média aritmética gira em torno de 19,60 m. Em seguida, a cada vez que o relógio de água marcava 3,0 s, ele mediu também a distância percorrida, obtendo valores cuja média se localiza perto de 44,10 m, e assim sucessivamente. É claro que os tempos obtidos no relógio de água apresentaram pequenas variações e não corresponderão às medidas exatas de 1,0 s, 2,0 s, 3,0 s etc., mas tais medidas podem ser consideradas as médias aritméticas dos tempos obtidos em cada caso.

De posse das medições efetuadas, Galileu pôde construir uma tabela, onde são comparadas as médias aritméticas das medições da distância percorrida pelo corpo em queda livre e do tempo gasto para percorrê-la em cada caso. A comparação das medidas fornece a relação matemática ' $d = 4,9t^2$ ', onde 'd' e 't' representam, respectivamente, a distância percorrida e o tempo gasto em percorrê-la. Esta relação mostra que, de fato, os espaços percorridos pelo móvel em queda livre são proporcionais aos quadrados dos tempos e assim confirma experimentalmente a demonstração anterior.

A descrição acima nos mostra que o método inovador de Galileu para estudar a natureza se divide, grosso modo, nas seguintes etapas:

1ª Etapa: Com base em definições capazes de manipulação matemática, estabelecer um conjunto de princípios gerais a partir dos quais é possível extrair consequências sob a forma de teoremas. Esta é a etapa eminentemente dedutiva do método, na qual predomina a atividade de demonstração. Essa última, contudo, não é completamente desligada do mundo da experiência, pois as definições acima mencionadas não devem ser somente capazes de manipulação matemática, mas também de expressar conceitos operatórios cujas instâncias são dadas por medições feitas pelo cientista no domínio do mundo físico. Assim, as proposições dessa etapa, representadas pelos princípios e suas consequências, expressam relações matemáticas gerais cujas instâncias podem ser obtidas por meio de medições correspondentes no mundo físico. Se essa etapa é predominantemente dedutiva, as deduções envolvidas são feitas com vistas à sua comprovação através de medições no mundo da experiência sensível.

2ª Etapa: Verificação da relação matemática demonstrada na primeira etapa, por meio da comparação das medidas previstas pela demonstração e daquelas efetivamente observadas no mundo físico. Para tanto, o cientista deve efetuar uma série de medições envolvendo as grandezas físicas que se supõem ligadas pela demonstração matemática. Essa é a etapa eminentemente experimental do método, na qual predomina a atividade de verificação. Todavia, esta etapa não é puramente voltada para a experiência, pois as medições envolvidas correspondem a instâncias particulares de tais grandezas e contêm a possibilidade de serem obtidas com erros. Com efeito, tais medições são realizadas por um observador e certamente a sua maior ou menor exatidão depende, por exemplo, da acuidade visual e da rapidez dos reflexos desse observador. Desse modo, efetuar uma medição constitui uma operação que sofre a interferência da subjetividade do físico. Nunca haverá uma medição que possa ser considerada rigorosa-

mente exata. Mesmo assim, o problema pode ser contornado pela adoção da seguinte estratégia. As medições para um dado valor de uma grandeza poderão ser feitas um grande número de vezes e a medição final será a média aritmética das medidas obtidas em cada caso particular. Isto possibilitará evitar desvios provenientes de uma única medição ou de um número muito limitado de medições. Essa estratégia já está prevista pelo próprio Galileu, cujas medições são muitas vezes repetidas e, uma vez realizadas com a devida acuidade, nunca diferem de maneira significativa (Galileu 1648: 176). Ora, tendo em vista que os valores obtidos são médias aritméticas das medições feitas e correspondem, portanto, a idealizações dos resultados empiricamente observados, fica claro que a segunda etapa possui uma dimensão geral que vai além da mera observação de um fato singular através da realização de medidas particulares².

Em síntese, poderíamos dizer que as duas etapas fundamentais do método de Galileu possuem as seguintes características. A primeira etapa, apesar de ser predominantemente dedutiva, está voltada para a dimensão experimental que predomina na segunda. A segunda, apesar de ser predominantemente experimental, está voltada para a dimensão dedutiva que predomina na primeira. Infelizmente, este método foi equivocadamente denominado 'hipotético-dedutivo'. Com efeito, essa expressão enfatiza apenas as atividades envolvidas pela primeira etapa do método considerado, já que as palavras 'hipotético' e 'dedutivo' meramente sugerem que o cientista constrói hipóteses para delas deduzir consequências. A verificação experimental das consequências é deixada de lado. A expressão 'dedutivo-indutivo' poderia dar uma idéia melhor da natureza do método, se não fossem as conotações históricas das palavras envolvidas, conotações estas que também sugerem, ao mesmo tempo, a existência de uma contradição em termos. A expressão 'hipotético-indutivo' parece padecer do mesmo mal. Desse ponto de vista, talvez a melhor designação do método galilêico fosse 'hipotético-experimental', desde que as palavras 'hipotético' e 'experimental' fossem entendidas como significando, respectivamente, a dimensão dedutiva com vistas à experimentação, dimensão esta que caracteriza a primeira etapa, e a dimensão experimental com vistas à idealização, que caracteriza a segunda. Uma outra maneira adequada de designar o método galilêico se encontra na expressão 'empírico-formal', onde as palavras 'empírico' e 'formal' refletem, respectivamente, a sua dimensão experimental e a sua dimensão dedutiva.

III - Questões filosóficas geradas pela introdução do método de Galileu

Historicamente, a introdução do novo método científico por Galileu tem pelo menos dois aspectos importantes. Por um lado, ela expressa a tendência de questionar as autoridades estabelecidas, fazendo, assim, parte do movimento de pensamento que refletiu as grandes transformações políticas, econômicas e sociais dos inícios da Idade Moderna e que teve como um de seus principais efeitos o enfraquecimento do poder da Igreja.

Por outro lado, ela também expressa o renovado interesse pelo estudo da natureza, que se encontra espelhado não somente nas obras de arte da época, mas também nos

estudos de anatomia, de perspectiva e até mesmo de astronomia. Ora, a introdução do *novo método científico constitui apenas um dos fatores* cuja combinação acabou por gerar uma verdadeira revolução na sociedade medieval. Essa revolução gera uma nova forma de prática social em franca contradição com o modo de pensar medieval.

Na verdade, a filosofia medieval já não é mais capaz de satisfazer as necessidades intelectuais do homem moderno, que precisa de uma nova filosofia. Isto possibilita o aparecimento de outra revolução, agora afetando o modo de pensar das pessoas. E Galileu, ao introduzir o seu método inovador, colabora ativamente com essa revolução intelectual. Seu método instaura um novo ideal de cientificidade, que leva a uma nova concepção da realidade, onde o universo físico se identifica com matéria em movimento de acordo com leis matemáticas. É esta nova concepção da realidade que vai constituir a base das novas sínteses filosóficas que vão surgir.

Isto acontece da seguinte maneira. Bastante impressionado com o sucesso de seu método e com o quadro conceitual inovador que o mesmo pressupõe, o próprio Galileu ensaia uma primeira explicação de caráter filosófico. Para tanto, ele segue aquele caminho que parece ser o mais natural e divide as qualidades sensíveis em primárias e secundárias. Assim, se o método hipotético-experimental se baseia em demonstrações e experimentações relativas a entidades mensuráveis, nada mais natural do que dividir as qualidades que percebemos por intermédio dos sentidos em qualidades mensuráveis e não-mensuráveis. Tendo em vista que o conhecimento produzido pelo novo método se fundamenta nas mensuráveis, Galileu denomina-as 'qualidades primárias', em oposição às não-mensuráveis, que ele denomina 'qualidades secundárias'. Mais ainda: do ponto de vista do novo método científico, as qualidades primárias são as únicas verdadeiramente objetivas, enquanto as secundárias são meramente subjetivas. Nas palavras de Galileu:

"Mas que nos corpos externos, para excitar em nós os sabores, os cheiros e os sons, seja necessário mais que as grandezas, figuras e multiplicidade de movimentos vagarosos ou rápidos, eu não acredito; acho que, tirando os ouvidos, as línguas e os narizes, permanecem os números, as figuras e os movimentos, mas não os cheiros, nem os sabores, nem os sons, que, fora do animal vivente, acredito que sejam só nomes, como nada mais é que nome a cócega, tiradas as axilas e a pele ao redor do nariz" (Galileu 1623: 219).

Desse modo, a idéia central da filosofia moderna de que os corpos do mundo material se reduzem a extensão e movimento já está contida na divisão feita por Galileu. Podemos até mesmo afirmar que, no que diz respeito à concepção do universo físico, a maioria dos pensadores modernos ou extraem sua inspiração ou sofrem influência velada da filosofia de Galileu. Resta saber, porém, quais os méritos dessa filosofia.

Vejamos, inicialmente, o significado filosófico da divisão galiléica das qualidades sensíveis em objetivas e subjetivas. Em primeiro lugar, essa divisão gera uma espécie de desconfiança epistemológica que encontra sua melhor expressão na dúvida metódica cartesiana. Com efeito, se é verdade que as qualidades sensíveis objetivas nos são dadas sempre mescladas com as subjetivas, torna-se premente a necessidade de separar umas das outras, pois só as primeiras nos fornecem o conhecimento científico. Uma

ilustração da importância disso está na Astronomia, com a introdução do sistema heliocêntrico de Copérnico. Se o sistema é verdadeiro, então o movimento do sol ao redor da terra constitui uma fantástica ilusão que enganou os astrônomos por milênios. E essa ilusão pode ser explicada pela deformação que as qualidades subjetivas impõem à realidade objetiva. Ora, fatos como este produzem uma enorme desconfiança na autenticidade dos dados que recebemos através dos sentidos e motivam a busca de critérios de cientificidade capazes de superar as miragens causadas pelas qualidades subjetivas. Daí a postura epistemológica dos filósofos modernos em geral, para os quais a questão sobre a origem, o alcance e a validade de nosso conhecimento desempenha um papel fundamental.

Em segundo lugar, a divisão galiléica enfatiza o conflito entre fatos e valores. Realmente, essa divisão sugere implicitamente que os verdadeiros fatos do mundo físico são aqueles que admitem a aplicação do novo método científico. Mas neste caso os fatos passam a pertencer ao domínio das qualidades objetivas, matematicamente explicáveis em termos de extensão e movimento, enquanto os valores ficam relegados ao domínio das qualidades subjetivas, não mensuráveis e não científicas. Ora, esta constatação, levada às suas últimas conseqüências, parece não apenas destruir todo o edifício da moralidade medieval, mas também impedir a construção de qualquer sistema moral moderno que possua um mínimo de consistência. Surge aqui, de novo, a necessidade premente de encontrar uma explicação filosófica que constitua uma forma de compromisso, que estabeleça uma conciliação entre uma ciência que estuda matematicamente os fatos objetivos e um sistema moral que foi subitamente relegado ao domínio do subjetivo.

Do ponto de vista da questão que nos interessa mais de perto, a saber, a causalidade, a divisão galiléica produz os seguintes resultados. Por um lado, a desconfiança epistemológica por ela gerada vai ser aplicada à relação causal entre dois fenômenos. Ora, se essa desconfiança é levada às suas últimas conseqüências, fica claro que só é possível observar, nesta relação causal, a sucessão de dois fenômenos no tempo. A ação de um fenômeno sobre o outro é-nos completamente inacessível. Isso fica confirmado pela análise que fizemos anteriormente da transmissão de movimento de um corpo material para outro. Descartes e Hobbes partem do pressuposto de que ela existe, mas não têm como explicá-la no interior de suas filosofias³. Hume parece ter percebido este fato e, através de sua crítica ao princípio de causalidade, põe a nu a dificuldade.

Por outro lado, a divisão entre fatos e valores sugerida pela divisão galiléica das qualidades sensíveis faz com que o universo físico passe a ser explicável em termos puramente mecânicos, não exigindo o apelo a qualquer tipo de causa final. É certo que os filósofos modernos, em sua maioria, estão insatisfeitos com o autoritarismo e a intolerância da moralidade medieval. Mas a introdução do novo método científico, tal como foi interpretada por Galileu, parece sugerir que a construção de um sistema moral alternativo constitui uma tarefa muito difícil, se não inteiramente impossível.

Em resumo, se a desconfiança epistemológica leva à contestação do conceito de causa eficiente no universo físico, a dualidade entre fatos e valores elimina as causas finais

desse mesmo universo. Nesta perspectiva, as duas questões que incomodam profundamente os filósofos modernos podem ser formuladas da seguinte maneira: 1) se não temos acesso a qualquer forma de relação causal no mundo dos fenômenos, como pode a ciência da natureza ser possível? 2) se as causas finais são dispensáveis na explicação do universo físico, como é possível construir um sistema moral de maneira científica? Levando em conta a evolução histórica da Filosofia Moderna, podemos concluir que, no interior do quadro conceitual estabelecido pela divisão galiléica, estas questões parecem encontrar respostas fascinantes, mas não satisfatórias. Ora, uma questão que possa ser definida como tal deve admitir pelo menos uma resposta satisfatória. Quando uma questão, apesar de aparentemente bem-formulada, não admite qualquer resposta satisfatória, deixando-nos perdidos diante de enigmas insolúveis, podemos com todo direito imaginar que alguma coisa deve estar errada com a própria questão. Talvez ela não seja uma boa questão ou nem mesmo uma questão autêntica. Neste caso, o melhor a fazer é trocá-la por outra.

Para iniciar uma explicação alternativa do problema da causalidade no universo físico, verifiquemos de que questão ou questões parte Galileu. Isso certamente nos auxiliará na obtenção dos esclarecimentos de que precisamos. Todavia, a tarefa de localizar esta questão originária não é fácil, pois nem todos os filósofos têm o bom hábito de indicar com clareza qual problema estão tentando resolver — e Galileu parece constituir uma confirmação desta regra. Além disso, parece-me que a formulação de uma questão originária do tipo que procuramos só pode ser feita se levarmos em conta o contexto histórico que ela envolve. É esse contexto que, apesar de nem sempre explicitado, está sempre atuando e revela a situação concreta em que o pensador se encontra, situação essa que determina não somente o tipo de questão que está sendo enfrentada, mas também os tipos de resposta que a questão admite.

A propósito disso, cabe aqui um parêntese. É comum, quando alguns estudiosos da filosofia pretendem explicar um dado sistema filosófico, o procedimento de recorrer ao contexto histórico no interior do qual o sistema surgiu. Entretanto, uma vez introduzido o sistema em seu contexto, este último é rapidamente desprezado e passa-se à consideração dos problemas filosóficos em si mesmos, como se estes constituíssem o verdadeiro sumo da filosofia. Esta atitude me parece errônea, pois só aparentemente localiza o problema em seu contexto. Na realidade, o problema continua isolado e analisado em si mesmo. Isso constitui uma perspectiva reducionista e envolve o perigo de desviar a atenção dos fatores que efetivamente estão em jogo, deformando os verdadeiros problemas e sugerindo soluções inadequadas. Assim, parece que a atitude oposta é mais frutífera. Com efeito, ao localizar o problema em seu contexto histórico e ao tentar analisá-lo no interior desse contexto, obtém-se uma visão mais completa de todos os fatores que estão atuando e, através disso, uma compreensão maior do problema e suas possíveis soluções. Além disso, a localização do problema em seu contexto histórico torna mais fácil a tarefa de explicitar os pressupostos de onde se partiu, revelando assim as possíveis motivações ocultas de cada sistema filosófico. É neste espírito que as considerações que seguem devem ser entendidas.

Voltando à questão originária de Galileu, podemos dizer que o contexto em que a mesma se localiza é o da encruzilhada de dois mundos. Por um lado, temos a socie-

dade medieval, predominantemente estática, que apesar disso caminha para a dissolução. Por outro, a sociedade moderna, predominantemente dinâmica, que caminha decisivamente no sentido de substituir a medieval. Por um lado, o modo de pensar de tipo aristotélico-medieval, predominantemente qualitativo, que pretende colocar as demonstrações acima dos fatos. Por outro, o novo método hipotético-experimental, predominantemente quantitativo, que pretende colocar os fatos acima das demonstrações.

O sucesso do novo método científico confirma as idéias de Galileu e o situa em significativa oposição com respeito à filosofia aristotélico-medieval, mas, ao mesmo tempo, levanta-lhe o problema filosófico de caracterizar com o mínimo de rigor o novo conhecimento científico. Em outras palavras, se o método hipotético-experimental é o instrumento adequado para conhecer o mundo, em que consiste então o conhecimento obtido a partir desse método? Essa questão, ou alguma equivalente, parece ter sido aquela à qual Galileu tenta responder nas partes relevantes de "*O Ensaizador*".

Não devemos esquecer, contudo, que tal questão foi formulada numa época em que o único quadro conceitual filosófico disponível era o aristotélico-medieval. Assim, do ponto de vista filosófico, Galileu se encontra na seguinte situação: por um lado, seu novo método científico desbanca a física aristotélico-medieval, que se revela incapaz de explicar os fatos ligados ao movimento dos corpos do mundo sensível; por outro, em virtude dos embates com seus adversários, Galileu sente a necessidade de elaborar uma justificação filosófica para este método e só tem a seu dispor o mesmo quadro conceitual de seus adversários, a saber, o aristotélico-medieval. Paradoxalmente, Galileu e seus adversários disputam dentro de um mesmo quadro conceitual. Desse modo, tanto Galileu como seus adversários admitem que percebemos o mundo por meio das qualidades sensíveis; que existe uma verdadeira realidade, da qual o conhecimento é completamente garantido; que atingimos esta verdadeira realidade por meio da ciência, não dos preconceitos oriundos da mera opinião. O dualismo entre a verdadeira realidade e o domínio da aparência, que perpassa boa parte da filosofia greco-medieval, está aqui presente com toda a sua força. Para tal dualismo, o atomismo de Demócrito, onde o mundo das aparências sensíveis é explicado por meio dos átomos em movimento, parece sugerir até mesmo um modelo explicativo muito adequado para o conhecimento obtido através do método hipotético-experimental. Daí a divisão galiléica das qualidades sensíveis em objetivas e subjetivas. Já que as primeiras nos dão com muita eficácia o conhecimento dum universo mecânico escrito em linguagem matemática, elas devem constituir o objeto do verdadeiro conhecimento científico. As qualidades subjetivas, por sua vez, não são mensuráveis e, portanto, não devem constituir o objeto do verdadeiro conhecimento científico, mas sim da opinião. Desse modo, ao que tudo indica, o pano de fundo da divisão galiléica das qualidades sensíveis ainda é o aristotélico-medieval. Que essa divisão tenha sido aceita tacitamente pelos filósofos modernos em geral simplesmente revela o quão natural a mesma aparentava ser para os pensadores da época.

As considerações acima mostram que a teoria de Galileu sobre as qualidades sensíveis encerra uma perigosa armadilha, que consiste em tentar encaixar idéias novas num sistema antigo de conceitos e que o físico Werner Heisenberg descreve como constituindo a tentativa de colocar vinho novo em tonel velho (Heisenberg 1959: 123). Aprovei-

tando a sugestão de Heisenberg, podemos dizer que o vinho novo é representado pelo novo método hipotético-experimental; o tonel velho, pelo sistema conceitual greco-medieval pressuposto na distinção feita por Galileu entre qualidades primárias e secundárias. Com efeito, se analisarmos um pouco mais a fundo o método galilêico, tal como foi feito nos séculos que se seguiram à sua introdução, veremos que ele leva a um novo tipo de conhecimento, cujos traços fundamentais são o caráter descritivista e provisório. A teoria das qualidades primárias e secundárias, contudo, se baseia na concepção aristotélico-medieval do conhecimento, cujos principais traços são: caráter essencialista e permanente. Assim, Galileu estaria tentando justificar um método baseado numa nova concepção de conhecimento através de uma filosofia baseada numa antiga concepção de conhecimento. Não é outro o significado das oposições caracterizadas pelos pares 'qualidades primárias' versus 'qualidades secundárias', 'qualidades objetivas' versus 'qualidades subjetivas', 'fatos' versus 'valores', 'realidade' versus 'ilusão', etc.. Infelizmente, foi com base em tal dualismo que os filósofos modernos tentaram responder à questão sobre a origem, o valor e o alcance do nosso conhecimento. Se levarmos em conta que a Igreja, apesar de ver seus poderes cada vez mais enfraquecidos, ainda podia ameaçar os hereges com a Inquisição da qual nem o famoso e respeitável Galileu escapou, veremos que a opção pelo modo aristotélico-medieval de pensar, ainda que de forma adaptada, constituía não somente o único recurso intelectual disponível, mas também uma forma de sobrevivência. Assim, o palco estava todo montado para levar a um fracasso total. Em homenagem a Galileu, seu fundador e o primeiro a cair sua vítima, chamarei esta tentativa de armazenar vinho novo em tonel velho de 'armadilha de Galileu'.

Esta armadilha, em virtude da maneira pela qual é montada e do contexto em que se insere, sugere uma série de posições filosóficas duvidosas que levam a enigmas insolúveis. Devido a problemas de espaço, contudo, tratarei de apenas duas delas⁴. Em primeiro lugar, a armadilha sugere que o verdadeiro conhecimento, aquele que provém das qualidades primárias, está deformado pela interferência das qualidades secundárias, exigindo, assim, uma fonte absoluta de certeza para poder distinguir umas das outras. É preciso separar o joio do trigo, a opinião da ciência. Mas, como Berkeley observa muito bem, as qualidades primárias estão inseparavelmente unidas às secundárias. Não há critérios que permitam efetuar, com o necessário rigor, esta separação. A busca de uma fonte absoluta de certeza só pode levar a uma exacerbação da dúvida, da qual a dúvida metódica cartesiana constitui o melhor exemplo. Esquecendo-se que, conforme diz o segundo Wittgenstein, a própria dúvida já pressupõe alguma certeza (Wittgenstein 1969: 115), o filósofo se lança na tarefa de duvidar de tudo, considerando falsa qualquer coisa em que puder encontrar a mínima dúvida. Esta, porém, é uma tarefa infrutífera que só pode levar a um beco sem saída. Com efeito, no que diz respeito ao método de Galileu, a posse de um fundamento último de toda certeza é completamente dispensável. Na curta duração de nossas vidas, não podemos comprovar tudo aquilo que se nos apresenta como conhecimento, somos obrigados a ter fé em muitas coisas. Acreditamos nos físicos e naquilo que eles escrevem em seus livros. Talvez a melhor expressão disso se encontre nos "*Discursos e Demonstrações Matemáticas acerca de Duas Novas Ciências*" de Galileu. Ali, a resposta que Simplicio dá a Salviati, quando este último descreve para o primeiro as experiências que realizou para comprovar as relações matemáticas envolvidas pela queda livre dos corpos, é a seguinte:

"Teria sido uma grande satisfação presenciar tais experiências; contudo, estando certo de seu zelo em efetuar-las e de sua fidelidade em relatá-las, não *tenho escríptulos em aceitá-las como verdadeiras e certas*" (Galileu 1638: 176; grifo meu).

Mas esta fé não é absolutamente irracional: são os aspectos práticos de nossa vida que determinam sua adoção. Em outras palavras, no tipo de sociedade que conhecemos, somos integrados numa cadeia de crenças desde a mais tenra idade. Começamos a ter fé muito cedo e, em alguns casos, jamais abandonamos nossas crenças mais queridas. O próprio Descartes fez o que fez porque pretendia justificar, através de uma solução de compromisso, as suas crenças católicas mais íntimas.

Em segundo lugar, a armadilha sugere que, em virtude de sua comprovada eficiência, o conhecimento relativo às qualidades primárias deve ser o único verdadeiro, devendo-se excluir as qualidades secundárias do domínio da ciência. Assim, qualquer forma de conhecimento que não possua as propriedades básicas daquele que é obtido pela aplicação do método de Galileu deixará de ser considerada genuína. Está embutida, aí talvez, a fonte do fisicalismo, o preconceito positivista com respeito a todo conhecimento que pretenda ser científico e não possua as mesmas características da física moderna. Ainda estamos aqui sofrendo as conseqüências da já mencionada tentativa equivocada de explicar uma realidade nova através de uma moldura conceitual superada.

Em síntese, Galileu inaugura um novo método científico que corresponde a uma nova forma de praticar a ciência. A influência da filosofia greco-medieval, porém, fá-lo pensar a nova prática de um ponto de vista equivocado, que gera o problema da causalidade e a distinção entre qualidades primárias e secundárias. Esta distinção faz sucesso na filosofia moderna e mostra que o ponto de vista equivocado se encontra presente em todos os filósofos modernos, de Descartes a Kant. Do ponto de vista da física, todos tentam justificar uma relação causal que, na realidade, não faz parte das etapas do método galilêico e não é necessária para a explicação dos fenômenos físicos.

IV - Proposta de uma nova questão filosófica relativa ao método de Galileu

Com base nas considerações feitas na seção anterior, tentarei esboçar agora um enfoque alternativo para a perplexidade filosófica gerada pelo sucesso do método de Galileu. A proposta que faço é a seguinte. Partirei do pressuposto de que a armadilha de Galileu deve ser evitada. Assim, ao invés de fazer a pergunta essencialista característica do modelo aristotélico-medieval que foi inadvertidamente assumida pelos filósofos modernos, perguntarei *como funciona* o método científico inaugurado por Galileu. Isso significa que evitarei cometer o erro dos filósofos modernos e não tentarei estabelecer *a priori* os fundamentos desse método. Percorrerei a trajetória contrária: tentarei descobrir, pela descrição do funcionamento do método, os princípios filosóficos nos quais ele se baseia. Com esse procedimento, pretendo evitar um certo tipo de metafísica

que, segundo me parece, tem desorientado muitos filósofos. Com efeito, se o procedimento for bem-sucedido, não apenas terei encontrado o verdadeiro fundamento do método galilêico, como também evitarei os problemas filosóficos que atormentaram os pensadores modernos.

No caso particular que estamos considerando, o procedimento proposto nos revelará que o fundamento do método de Galileu se encontra na própria prática social que ele instaura. Ora essa prática envolve nada mais nada menos que uma feliz combinação da dedução com a experimentação. Essa combinação, por sua vez, parece basear-se, *grosso modo*, nos seguintes princípios filosóficos.

O primeiro deles afirma que, em física, o conhecimento se obtém por meio de uma interação entre: a) aquilo que podemos prever por meio de uma cadeia inferencial de caráter matemático tal que uma de suas extremidades é representada por princípios bastante gerais e a outra, por uma proposição empírica que descreva, de maneira mensurável, um fato singular do mundo físico; e b) um fato singular do mundo físico, construído de maneira a possibilitar a realização de mensurações que confirmem ou não a proposição empírica mencionada. Assim, dada teoria conduz a um tipo de fato, e este último confirma ou não a teoria.

O segundo princípio afirma que essa interação pode ser realizada através da mediação da matemática, o que envolve o apelo a certo tipo de idealização que garante o sucesso do método. Com efeito, a parte dedutiva deste último conduz a uma proposição empírica que descreve matematicamente — e portanto idealmente — um fato singular. A parte experimental conduz a uma série de fatos singulares obtidos através de medições singulares, as quais, finalmente, são idealizadas através do cálculo das médias dessas medições. São os valores destas médias que confirmam ou não a previsão feita pela proposição empírica. Certamente, sempre há desvios entre o teoricamente previsto e o experimentalmente encontrado. Mas o método inclui o princípio de que tais desvios, se não forem exagerados, podem ser desprezados. Os critérios para estabelecimento do grau de tolerância que podemos ter com respeito aos desvios possíveis são determinados pela ordem de grandeza das mensurações envolvidas.

A partir da experiência histórica que atualmente possuímos com respeito à prática instaurada pelo método galilêico, podemos contudo dizer que a interação entre teoria e experiência possui múltiplas facetas. Em outras palavras, o choque entre uma teoria física e um fato singular que a desconforme pode ser absorvido de muitas maneiras pela teoria e pela comunidade científica. Neste ponto, vale observar que, ao contrário do que pensa Popper, nem sempre o teste experimental falsifica o modelo teórico. De fato, pode acontecer que o modelo faça determinada previsão, representada por uma proposição singular, e esta última se revele falsa através do teste experimental. Neste caso, uma aplicação reiterada e radical do *modus tollens* na hierarquia inferencial das proposições que constituem os princípios do modelo deveria conduzir-nos, de acordo com Popper, à negação de um ou mais princípios básicos pressupostos pelo modelo. Mas o que acontece na prática é bem outra coisa. Em alguns casos, os físicos consideram que o experimento foi feito de maneira errada e resguardam integralmente o modelo. Em outros casos, eles admitem que o experimento está correto sem, contudo,

alterar radicalmente o modelo. Realmente, são tantas as proposições intermediárias da hierarquia envolvida pelo modelo que se torna perfeitamente possível modificar somente algumas delas para conformar o modelo à experiência sem alterá-lo de maneira significativa. Além disso, o físico pode simplesmente arquivar o resultado do experimento, deixando-o para consideração posterior. Neste caso, a teoria não sofre alteração alguma. Em outros casos, mais drásticos, alguns físicos podem sentir-se inclinados a respeitar integralmente os dados da experiência e alterar o modelo de maneira significativa, aí incluída a sua filosofia. Mas outros físicos podem decidir continuar fiéis ao antigo modelo, aceitando, no máximo, alterações menores. Aqui, a comunidade científica poderá ficar dividida pela adoção de modelos alternativos e mutuamente exclusivos. De qualquer modo, a opção por um desses modelos alternativos pode envolver uma elevada dose de persuasão.

Para ilustrar estes mecanismos, ainda que de maneira bastante superficial, lembremos alguns aspectos do caso do aparecimento da teoria da relatividade restrita. Sabemos que a mecânica newtoniana se baseia num conjunto de princípios filosóficos através dos quais se expressa dada concepção do espaço, do tempo, da matéria e do movimento. No confronto com a experiência, contudo, essa mecânica fracassou em suas previsões relativas aos fenômenos de propagação eletromagnética. Surgiram, a partir daí, muitas tentativas fracassadas de salvá-la e muita disputa intelectual, coroada pelo aparecimento de uma nova teoria, a relatividade especial, que se revelou mais eficiente na explicação dos fenômenos. Isto, porém, significou a necessidade de se adotarem novos princípios filosóficos, que expressam uma nova concepção do espaço, do tempo, da matéria e do movimento. Surpreendentemente, os fenômenos que a mecânica newtoniana explica com sucesso podem ser também explicados, como casos-limite, pela relatividade especial. Assim, pelo menos neste caso, o confronto com a experiência e o fracasso das tentativas de salvar a mecânica newtoniana levou não somente à construção de uma nova teoria física, baseada num novo conjunto de princípios filosóficos, mas à convivência mais ou menos pacífica entre dois modelos alternativos e, em última análise, mutuamente exclusivos.

Pelo que podemos extrair da história da física desde Galileu até hoje, parece claro que o confronto com a experiência pode motivar o aparecimento de teorias alternativas e de disputas teóricas e metodológicas que envolvam o apelo à persuasão. Assim, as facetas da interação entre as teorias e os fatos mencionados acima não são as únicas possíveis. Não me parece que sejamos capazes de prever com exatidão que uma situação de crise se iniciará e nem que resultados ela irá produzir. Em todo caso, a análise da crise deverá levar em conta as circunstâncias históricas particulares envolvidas pela mudança de modelo. Isto faz com que cada caso seja um caso particular e que, mesmo não havendo leis mais ou menos definidas para essas alterações, cada uma delas possui a sua própria racionalidade. Além disso, tais alterações são feitas de tal forma que, no final do processo, é construído algum tipo de objetividade consensual que pode ser observada em nossa prática social e descrita mais ou menos rigorosamente.

A partir daí, podemos concluir que, em alguns casos especiais, mesmo os princípios metafísicos, lógicos e matemáticos do modelo podem ser alterados em caso de necessidade. Realmente, a falsificação de uma dada previsão experimental pode alcançar

logicamente até mesmo os primeiros princípios do modelo. Assim, vai depender das nossas conveniências alterar tais princípios ou não. A única coisa que pode ser dita em favor deles é que, localizados em uma região muito distante do confronto direto com a experiência, tais princípios exigirão um tempo muito maior para serem substituídos, já que, na maior parte dos casos, somente um número muito grande de falsificações nas fímbrias do modelo poderá levar à decisão de rejeitá-los. É neste sentido que afirmo que uma determinada filosofia pressuposta pelo modelo pode, uma vez ocorrendo as circunstâncias apropriadas, ser substituída por outra.

No caso específico da aplicação da causalidade ao mundo físico, um dos princípios filosóficos fundamentais do método de Galileu é a uniformidade da natureza. Desse modo, se dois fenômenos se apresentam à observação de forma tal que, em circunstâncias apropriadas, dado o primeiro deles, segue-se o segundo, o método nos autoriza a dizer que o primeiro é causa do segundo. Mas não há qualquer necessidade de empreender a ingrata tarefa de demonstrar filosoficamente que existe uma relação causal entre os dois fenômenos. Enquanto a mera atribuição da relação causal de caráter físico entre os dois funcionar, o princípio de causalidade estará garantido. Se, entretanto, a evolução da física sugerir algo em contrário, o princípio de causalidade deverá ser modificado correspondentemente.

Mas vale a pena observar também que o próprio método de Galileu possui a marca da provisoriidade. É preciso deixar bem claro que a filosofia pressuposta por este método não o fundamenta radicalmente, como os filósofos modernos desejariam. De fato, o que tem fundamentado este método é o seu próprio sucesso na evolução da física. Se, em algum momento, este método for considerado ineficiente ao ser aplicado a determinado domínio do universo físico, ele poderá estar sujeito a alterações análogas àquelas que as teorias físicas podem sofrer.

Neste ponto, o leitor mais exigente pode estar incomodado com o caráter mais ou menos vago de expressões como 'critérios consensuais', 'objetividade mais ou menos consensual' etc., considerando que as mesmas deveriam ser mais rigorosamente definidas. Todavia, parece-me que devo argumentar em sentido contrário a esta exigência. Com efeito, apesar de sabermos *como* dada reformulação mínima ou mesmo uma mudança total de teoria ocorreu, não há leis definidas para explicar tais processos. Todas as vezes em que há consenso, acabamos por constatar este fato, mas não há um processo uniforme que determine o aparecimento do consenso. No caso da física, os fatores históricos e intelectuais que determinam a aceitação ou a recusa mais ou menos consensual de dada teoria podem ocupar toda uma gama que envolve seja o teste experimental, seja a utilização de táticas persuasivas, seja a aposentadoria ou a contratação de partidários. Com base nisso, podemos concluir que talvez um dos maiores erros de alguns filósofos da ciência contemporâneos esteja na busca de características comuns a todas as revoluções científicas. Tratar-se-ia, em última análise, de mais um caso de generalização apressada⁵.

Resta apenas acrescentar que a própria descrição que fiz do funcionamento deste método, apesar de constituir mera indicação de trabalho para aprofundamento posterior, não é trivial e não tem a pretensão de ser absoluta. Ela pode ser contestada pela apresenta-

ção de uma descrição mais adequada. Além disso, ela corresponde ao que podemos observar *até agora*. Se houver alguma mudança significativa nas práticas sociais envolvidas, certamente essa descrição deverá ser substituída por outra mais conveniente. Assim, a justificação da concepção pragmática que acabei de expor consiste na sua própria utilidade. Ela não está sendo apresentada como um princípio fundamental ou uma verdade necessária, mas como uma proposta útil de trabalho, que poderá ser alterada na medida de nossas necessidades. Os critérios que determinam a utilidade de uma teoria podem ser obtidos a partir da análise das razões de seu sucesso na prática social. É o que determina este sucesso é a aceitação consensual. A regra do polegar, no caso da concepção pragmática que acabo de apresentar é a seguinte: ao invés de perguntar 'que é isso?' ou 'qual o fundamento disso?', o filósofo deve perguntar 'qual o papel disso em nossa prática social?' Essa pergunta alternativa tem o mérito de eliminar duas perigosas tendências que muito atrapalharam a filosofia tradicional. A primeira delas é a tendência a elaborar metafísicas de tipo fundante, que pretendem dar uma explicação radical do mundo. Ora, as metafísicas radicalmente fundantes até agora conhecidas não resolvem problema algum, como se pode comprovar pela mera inspeção da enorme diversidade de sistemas filosóficos de Tales de Mileto até hoje. Esse tipo de metafísica infrutífera pode ser deixado de lado se optarmos pela questão pragmática. A segunda tendência é a da generalização apressada. A filosofia tradicional desconsidera as diferenças que possam estar envolvidas na análise de uma questão e trata problemas que se referem a dado domínio da realidade como se fossem problemas que abarcassem toda ela. Uma ilustração disso está, como veremos mais adiante, no alcance absolutamente geral que os filósofos modernos deram ao problema de âmbito restrito sobre o valor e alcance do método científico inaugurado por Galileu. Neste caso específico, a concepção pragmática proposta, ao partir da descrição de como funciona o método galilêico, tem a vantagem de respeitar as diferenças presentes nos fatos mesmos, dessa forma evitando com mais eficiência o perigo da generalização apressada⁶.

A análise que acabei de fazer se aplica aos principais aspectos do método de Galileu, desde que o mesmo surgiu até os dias de hoje. Isto já é bastante revelador em relação aos equívocos que prejudicam as explicações dos filósofos modernos considerados. Passemos agora à descrição, ainda que parcial, de como funciona o princípio de causalidade na física contemporânea a partir de uma visão panorâmica da mesma, para tornar tais equívocos ainda mais claros e fornecer, ao mesmo tempo, uma concepção mais adequada da física.

V - A Física contemporânea como mosaico de sistemas e a questão da causalidade em dois deles: mecânica newtoniana e mecânica quântica

Para aplicar o método proposto nas seções anteriores, temos de descrever como funciona a atividade científica conhecida como 'física' nas sociedades atuais. Para fazer tal retrato, recorrerei à visão de um dos maiores expoentes da física contemporânea, o

cientista Werner Heisenberg, que descreveu a situação da física na década de cinqüenta. Apesar de muito distante do momento presente, esta visão parece ainda conservar alguns dos traços essenciais da física contemporânea. Além disso, ela se baseia na experiência e na autoridade de um físico importante e, neste sentido, torna-se mais confiável.

A primeira constatação a ser feita é a seguinte: ao considerar o funcionamento da física com base na visão mencionada, encontramos uma situação completamente diversa daquela que foi analisada pelos filósofos modernos. Com efeito, segundo Heisenberg, a física atual envolve pelo menos quatro diferentes sistemas de conceitos que atingiram uma forma definitiva.

O primeiro deles é representado pela mecânica newtoniana e compreende a acústica, a estática e a aerodinâmica. Esta mecânica tem sido usada com sucesso para descrever sistemas mecânicos, movimentos dos fluidos e a vibração elástica dos corpos (Heisenberg 1959: 89).

O segundo se formou no decorrer do século passado em conexão com a teoria do calor. Apesar de esse sistema poder ser ligado à mecânica por meio da mecânica estatística, Heisenberg acha que não seria realista considerá-la uma parte da mecânica. De fato, o sistema em questão envolve conceitos que lhe são próprios, como calor específico, entropia, energia livre etc. Além disso, já que aqui se descrevem fenômenos válidos para qualquer lugar e qualquer instante, o sistema pode ser combinado de maneira consistente com qualquer dos outros sistemas de conceitos (id.: 89-90). Para facilitar a exposição, chamarei tal sistema de 'termodinâmica'.

O terceiro sistema atingiu sua forma definitiva na primeira década do nosso século através dos trabalhos de Lorentz, Einstein e Minkowski. Este sistema originou-se dos estudos de eletricidade e magnetismo e compreende a eletrodinâmica, a relatividade especial, a ótica, o magnetismo e a teoria de Broglie sobre as ondas ligadas a todos os diferentes tipos de partículas (id.: 90). Também para facilitar a exposição, batizarei este sistema de 'relatividade especial'.

O quarto sistema de conceitos é representado pela teoria quântica, compreendendo, entre outras, a mecânica quântica, a teoria dos espectros atômicos, a química e a teoria de outras propriedades da matéria, como, por exemplo, a condutividade elétrica e o ferromagnetismo (id.). Seu conceito-chave é o de função de onda de um corpúsculo, onde a noção de probabilidade desempenha um papel fundamental.

Heisenberg faz referência a outro sistema de conceitos, ligados à teoria da relatividade geral, mas acaba por excluí-lo de sua enumeração, por considerar que o mesmo, apesar de distinto dos anteriores, ainda não atingiu sua forma definitiva (id.: 91).

Quanto às relações entre estes sistemas de conceitos, Heisenberg faz as seguintes ponderações: a relatividade especial contém a mecânica newtoniana como um caso-limite (quando a velocidade da luz pode ser considerada infinitamente grande); a teoria quântica também contém a mecânica newtoniana como um caso limite (quando a constante de Planck pode ser considerada infinitamente pequena); a mecânica

newtoniana e, em parte, a relatividade especial pertencem à teoria quântica como condições para a descrição dos experimentos; a termodinâmica pode ser combinada sem dificuldades com qualquer outro dos sistemas de conceitos e tem especial importância a sua ligação com a teoria quântica; a existência independente dos sistemas representados pela relatividade espacial e pela teoria quântica sugere a existência de um quinto sistema, distinto dos demais, do qual a mecânica newtoniana, a relatividade especial e a teoria quântica seriam os casos-limite (id.: 90-1)⁷.

O quadro acima nos sugere que a Física contemporânea é constituída por um mosaico de sistemas que se aplicam de maneiras diferentes a domínios diferentes. A título de ilustração, podemos fazer a pergunta sobre como se aplica o princípio de causalidade nos sistemas mencionados. Como, porém, o assunto é muito extenso, considerarei a questão da causalidade apenas em dois sistemas: na mecânica newtoniana e na teoria quântica. Apesar de limitada a estes dois casos, a análise será capaz de nos revelar fatos decisivos.

Consideremos, inicialmente, a mecânica newtoniana, que corresponde ao maior aprimoramento conhecido dos resultados obtidos através do método inaugurado por Galileu. Newton foi capaz de generalizar a análise galiléica, que tinha sido originalmente aplicada apenas aos domínios da cinemática, para todo o universo conhecido. Através do cálculo diferencial, que ele inventou mais ou menos ao mesmo tempo que Leibniz, Newton pôde calcular o valor da aceleração da gravidade com base nos dados de Galileu e estabelecer as leis fundamentais da gravitação. Sua teoria foi capaz de explicar tanto as trajetórias parabólicas dos projéteis estudados por Galileu como as órbitas elípticas dos planetas estudados por Kepler⁸. Essa é a física ensinada nas escolas secundárias e a única conhecida pela maior parte da população que freqüentou tais escolas. As noções básicas dessa física são as de espaço, tempo, massa, velocidade e aceleração. Espaço, tempo e massa são em princípio homogêneos e não sofrem deformações em virtude do movimento. A velocidade de uma partícula pode crescer indefinidamente. Essa teoria pressupõe a existência de um espaço e um tempo absolutos, que corresponderiam, grosso modo, ao espaço e ao tempo da nossa percepção. Quando se trata de resolver problemas que envolvam as distâncias e velocidades não muito grandes que geralmente encontramos na região da natureza que constitui o nosso meio circundante mais imediato, a aplicação do modelo newtoniano é o recurso mais apropriado que temos à mão.

Vejamos agora como funciona a noção de 'causa' na mecânica newtoniana. Segundo Northrop, podemos dizer que, para dada teoria matematicamente construída, existe uma relação causal de tipo mecânico entre dois sistemas físicos quando os axiomas da teoria satisfazem as duas seguintes condições: 1^a) eles especificam uma função cujas variáveis descrevem completamente o estado de um sistema num instante de tempo dado; 2^a) eles fornecem uma equação capaz de relacionar os valores numéricos empíricos destas variáveis num instante t_1 com os valores numéricos empíricos das mesmas num instante posterior t_2 , de um modo tal que os valores das variáveis em t_2 possam ser obtidos simplesmente resolvendo-se a equação mencionada pela introdução dos valores dessas variáveis em t_1 (Cf. Heisenberg 1959: 21-2). Na mecânica newtoniana, o conceito de probabilidade não é utilizado para descrever o estado do sistema, e isto

mostra que ela adota o conceito clássico ou “forte” de causalidade. Através dele, o físico estabelece uma relação entre dois estados de forma tal que esta relação seja formulada matematicamente e admita confirmação experimental através de mensurações. A formulação dessa relação pressupõe a possibilidade de se determinar a posição e a velocidade de uma partícula num dado instante. Graças a isso, o universo físico pode ser explicado em termos puramente mecânicos, conforme a clássica enunciação feita por Laplace no século passado. Contudo, o sistema funciona sem qualquer explicação dos fundamentos filosóficos da relação causal. O princípio de causalidade desempenha o papel de uma proposição primitiva na física newtoniana.

Consideremos agora a mecânica quântica. Seu objeto de estudo são as partículas subatômicas, corpúsculos extremamente pequenos, mas capazes de atingir grandes velocidades. As minúsculas dimensões destas partículas criam dificuldades técnicas formidáveis para a realização das observações experimentais. Mesmo assim, foi possível constatar que a cada partícula está associada uma onda eletromagnética. Em outras palavras, um elétron, por exemplo, comporta-se ao mesmo tempo como partícula e como onda. Este dualismo, que constitui, para De Broglie, “o grande drama da Microfísica contemporânea” (Cit. por Duquesne 1961: 62), leva a uma profunda modificação no conceito de elétron. Nas palavras de J. J. Thompson:

“A razão que nos faz rejeitar a antiga concepção do elétron é o resultado obtido muito recentemente com relação à série de ondas que sempre acompanha um elétron em movimento. Essas ondas, por assim dizer, carregam-no no movimento que as anima, determinando a direção que tem que seguir. Assim sendo, representa algo de muito mais complicado do que carga pontual em movimento uniforme” (Citado por Duquesne 1961: 58).

De Broglie tentou, durante alguns anos, construir um modelo do novo elétron com o auxílio de imagens precisas no espaço e no tempo, mas o modelo que vingou foi o da ‘função de onda’ da escola de Copenhague, representada por Heisenberg e Bohr. Esse modelo é puramente matemático, desprezando qualquer auxílio de imagens espaço-temporais. A função de onda envolve uma interpretação probabilística da partícula subatômica. Além disso, a existência de ondas eletromagnéticas associadas à partícula introduz a seguinte relação de incerteza estabelecida por Heisenberg: por um lado, podemos determinar com precisão a energia da partícula, mas ao preço de não podermos localizá-la no espaço; por outro, podemos localizar melhor a partícula no espaço, mas agora ao preço de perder a precisão na determinação de sua energia. Duquesne considera que “esse caráter vago que se introduz nos valores destinados a definir a posição e a velocidade de um corpúsculo caracteriza a passagem da mecânica clássica para a mecânica ondulatória” (1961: 60).

Como se pode ver, o conceito de probabilidade faz parte da definição do estado de um sistema físico na mecânica quântica. Isto constitui uma diferença radical com relação à mecânica newtoniana. Com efeito, esta última faz previsões relativas a fenômenos específicos, como, por exemplo, a posição de uma partícula num dado instante, ao passo que a mecânica quântica é obrigada a fazer previsões relativas a probabilidades de presença de uma partícula. Assim, uma proposição empírica da mecânica quântica

não pode ser considerada como experimentalmente verificada quando determinado estado previsto ocorre se apenas a quantidade de movimento ou a posição de dada partícula se encontra dentro dos limites da distribuição probabilística prevista. O mesmo experimento, nas mesmas condições, deve ser repetido inúmeras vezes, e a quantidade de movimento ou a posição da partícula, que pode ser diferente em cada mensuração, deve ocorrer dentro dos limites da distribuição probabilística prevista. E a razão disso está nas características peculiares dos fenômenos em nível subatômico que a mecânica quântica considera. Com efeito, quando se tenta definir o estado de um sistema mecânico pertencente a este nível apenas em termos da quantidade de movimento ou posição da partícula, as previsões se revelam falsas no teste experimental.

Quanto ao conceito de causalidade usado na mecânica quântica, podemos compará-lo da seguinte maneira com aquele da mecânica newtoniana. Se retomarmos o conceito de Northrop, veremos que, também para a mecânica quântica, existe uma relação causal de tipo mecânico entre dois sistemas físicos, do ponto de vista de uma teoria matematicamente construída, quando os axiomas dessa teoria satisfazem as duas condições mencionadas acima. Ou seja, quando eles especificam uma função capaz de descrever o estado de um sistema num dado instante e quando eles fornecem uma equação capaz de relacionar os valores das variáveis dessa função em dois instantes de tempo diferentes. Todavia, na mecânica quântica, o conceito de probabilidade é introduzido na descrição do estado do sistema, e isto faz com que o correspondente conceito de causa se desvie do conceito clássico. Mesmo assim, ainda existe alguma forma de causalidade, embora num sentido "fraco". Se, contudo, isto ainda parece pouco para convencer da verdadeira revolução que a mecânica quântica introduz no conceito de causalidade, basta lembrar que esta teoria também envolve a propriedade da não-separabilidade dos fótons gêmeos. Esta propriedade está relacionada a um teorema demonstrado por J. Bell em 1964 e ocorre quando, em condições adequadas, uma fonte emissora lança dois fótons gêmeos em sentidos opostos: mesmo quando estes fótons se encontram a uma distância considerável um do outro, aquilo que ocorre com um deles encontra uma correlação naquilo que ocorre com o outro. A existência destas correlações foi comprovada em 1982 (Cit. por Brockman: 75-7). Isto significa que as partículas subatômicas, além de envolverem ondas eletromagnéticas, não parecem possuir algumas das propriedades objetivas das partículas clássicas, como a localização espacial e a separabilidade.

Em conseqüência, da mesma maneira que a teoria da relatividade nos obriga a reformular as noções de espaço e tempo, a mecânica quântica nos obriga a alterar não apenas estas, mas também as noções de partícula e de causalidade¹⁰. Isto, por sua vez, envolve a noção de um universo onde o determinismo laplaciano deixa de valer. Não foi à toa que Einstein, partidário do conceito clássico de causalidade e um dos maiores adversários da teoria quântica, procurasse refutá-la afirmando que "Deus não joga dados".

Quanto às relações entre a mecânica quântica e a newtoniana, já foi mencionado que, conforme Heisenberg, a primeira contém a segunda como caso-limite. Isto significa que, apesar de estarmos irremediavelmente inseridos num universo probabilista, alguma previsão de tipo newtoniano ainda é possível. Realmente, pode-se mostrar que, quando os números quânticos do sistema observado são pequenos, como no caso dos

fenômenos em nível subatômico, então a incerteza relativa à posição e quantidade de movimento das massas envolvidas pelo sistema é significativa e as probabilidades contidas na função de onda dos corpúsculos devem ser consideradas; quando porém os números quânticos do sistema são grandes, como no caso dos fenômenos no âmbito das dimensões do mundo da nossa vida, então a incerteza relativa à posição e quantidade de movimento das massas envolvidas pelo sistema se torna desprezível e as probabilidades contidas na função de onda dos corpúsculos podem ser desprezadas. Desse modo, embora envolvendo um tipo de causalidade mais fraco que a clássica, pode-se dizer que a mecânica quântica explica os fenômenos do mundo da nossa vida da mesma maneira que a mecânica newtoniana, desde que tais fenômenos sejam considerados como casos limites.

Diante desses fatos, Heisenberg considera que a mecânica quântica reintroduz, de alguma forma, o conceito aristotélico de "potência": "(...) De fato, os experimentos revelaram a completa mutabilidade da matéria. Todas as partículas elementares podem, com energias suficientemente altas, ser transmutadas em outras partículas, ou podem simplesmente ser criadas a partir da energia cinética e podem ser aniquiladas sob a forma de energia, por exemplo, radiação. Portanto, temos aqui efetivamente a prova definitiva da unidade da matéria. Todas as partículas elementares são feitas da mesma substância, que podemos chamar energia ou matéria universal. Elas são apenas formas diferentes nas quais a matéria pode aparecer".

"Se compararmos esta situação com os conceitos aristotélicos de matéria e forma, podemos dizer que a matéria de Aristóteles, que é mera '*potentia*', deve ser comparada ao nosso conceito de energia, que obtém '*atualidade*' por meio da forma, quando a partícula elementar é criada" (Heisenberg 1959: 139).

Além disso, o conceito "fraco" de causalidade da teoria quântica, envolvendo probabilidades, parece oferecer melhores perspectivas com relação a uma síntese entre o mecanicismo do mundo físico e a teleologia envolvida pela dimensão moral das atividades humanas. Algumas tentativas já foram feitas nesse sentido (cf. Northrop, in: Heisenberg 1959: 25-6).

VI - Considerações finais

O quadro apresentado na seção anterior baseia-se na experiência de um dos maiores expoentes da física contemporânea para descrever a situação desta ciência na década de cinquenta. Em que pesem as modificações que possam ter ocorrido posteriormente neste quadro, as considerações feitas nos sugerem que a prática social que denominamos 'física', apresenta hoje características muito diferentes daquelas que impressionaram Galileu e os filósofos modernos estudados.

Em primeiro lugar, não parece existir "a" física, mas uma diversidade de sistemas de conceitos, sistemas estes que constituem como que um mosaico de atividades que são subsumidas pela palavra 'física'. Apesar de tais sistemas possuírem analogias entre si,

eles são distintos uns dos outros e, em alguns casos, mais ou menos incompatíveis. Os filósofos modernos se preocupam com um único sistema de conceitos, a saber, a mecânica newtoniana. Isto explica em parte o porquê de suas análises parciais e generalizações apressadas.

Em segundo lugar, a existência de campos tão diversos de aplicação da física faz suspeitar que o método iniciado por Galileu não seja exatamente o mesmo nos sistemas de conceitos acima descritos. Assim, apesar de a mensuração estar sempre presente em todos eles, parece que os processos utilizados para medir distância, comprimento de onda e temperatura, por exemplo, podem possuir analogias, mas são radicalmente diferentes. Além disso, os processos utilizados para efetuar medições de uma mesma dimensão, como o tempo, por exemplo, podem variar enormemente de um sistema para outro. Refiro-me às diferenças tecnológicas envolvidas pela medição do tempo de deslocamento de um corpo em mecânica newtoniana e pela medição do tempo de deslocamento de um elétron numa câmara de vapor em mecânica quântica. Tais diferenças parecem indicar que a própria expressão 'método de Galileu' envolve hoje uma diversidade de processos que possuem, no máximo, algumas analogias uns com os outros.

Em terceiro lugar, a doutrina galiléica das qualidades parece encontrar-se diante da necessidade de uma nova formulação. Com efeito, se, por um lado, o desenvolvimento da física parece confirmar o princípio galiléico de que os fenômenos do universo material podem ser explicados em termos de extensão e movimento, por outro, esse mesmo desenvolvimento nos leva à nova concepção do elétron como partícula à qual se encontram associadas ondas eletromagnéticas. É isto que parece exigir uma reformulação da teoria das qualidades de Galileu. Com efeito, a teoria galiléica pressupõe um conceito de matéria que não se identifica com energia e que se compõe de partículas cuja posição e movimento podem ser determinadas com precisão. Ora, a mecânica quântica pressupõe um conceito de matéria que se identifica com energia e que se compõe de partículas cuja posição e movimento estão sujeitas a uma relação de incerteza. Além disso, a mecânica quântica associa ondas eletromagnéticas à partícula, postulando a existência de corpúsculos oriundos de uma ontologia ambígua. Estes últimos, apesar de explicáveis em termos de extensão e movimento, são entidades probabilísticas e não parecem constituir o mesmo tipo de qualidade objetiva proposta por Galileu.

Em quarto lugar, dizer, como Heisenberg, que dado sistema de conceitos em física contém um outro como caso-limite é enganador. É verdade que isto pode, ao mesmo tempo, satisfazer nosso desejo por teorias unificadoras e apaziguar os nossos temores epistemológicos com respeito ao relativismo que a pluralidade de sistemas físicos acima mencionados poderia causar. Contudo, é também verdade que, se um sistema de conceitos 'A' é diferente de um sistema 'B' e se o primeiro contém em si o segundo como caso-limite, isto certamente significa que A explica os mesmos fenômenos que B, mas através de um conjunto de conceitos que podem ser radicalmente diferentes daqueles empregados por B. Portanto, A e B são dois sistemas independentes que só podem ser comparados por intermédio de analogias fracas. É isto que acontece no caso, por exemplo, da afirmação de Heisenberg de que a relatividade especial contém em si, como caso-limite, a mecânica newtoniana. Na verdade, os conceitos de espaço, tempo e massa são radicalmente diferentes nos dois sistemas e, de um ponto de vista puramente lógico, um não pode conter o outro. Mesmo assim, as previsões de ambos os siste-

mas coincidem na região do universo que compreende pequenas distâncias e pequenas velocidades. Situação idêntica, *mutatis mutandis*, ocorre no caso da relação entre a teoria quântica e a mecânica newtoniana.

Em quinto lugar, a tentativa de Heisenberg de ligar a teoria quântica à doutrina aristotélica da potencialidade parece ser perigosamente equivocada. É verdade que, por um lado, a concepção de uma partícula como uma espécie de 'pulsação cronotópica'¹¹, através da qual o movimento da partícula passa a ser concebido como um processo de condensação translativo semelhante a uma onda. E, paradoxalmente, tal processo não envolve uma distinção entre o espaço, o tempo e aquilo que se move, sugerindo uma concepção da matéria como fonte amorfa e única dos corpúsculos que constituem nosso universo. Por outro lado, os conceitos aristotélicos de 'ato', 'potência' e 'matéria' pertencem ao contexto de uma filosofia qualitativa que não encara o universo dessa maneira e nem parece capaz de fazê-lo eficazmente, de um ponto de vista quantitativo. Além disso, tais conceitos não podem ser isolados do sistema filosófico correspondente sem que se pague um alto preço em termos de coerência e adequação. Dessa forma, seria melhor deixar de lado o venerável mestre Aristóteles e tentar compreender o universo material que nos é oferecido pela mecânica quântica através de uma nova filosofia, que seja mais adequada e capaz de dar conta dos fascinantes fenômenos que as partículas subatômicas têm descortinado para os físicos. Por ironia do destino, parece que o próprio Heisenberg, que foi um dos primeiros a alertar para o perigo de se armazenar vinho novo em tonel velho, está aqui sucumbindo à mesma tentação que denunciou.

Coisa semelhante pode ser dita a respeito das tentativas de reconciliar a causalidade teleológica das ações humanas com a causalidade mecânica em sentido "fraco" da teoria quântica. Aqui também, ao que tudo indica, estamos diante de uma tentativa de responder à mesma questão que preocupou os filósofos modernos, questão essa que produziu muitas e muitas respostas infrutíferas até que fosse possível duvidar da sua própria correção. Nos dois casos, parece que nos encontramos diante de novas versões daquilo que denominei 'a armadilha de Galileu'.

Como se pode ver, a substituição da questão filosófica moderna a respeito dos fundamentos do conhecimento científico pela questão sobre o funcionamento do próprio método científico nos leva a um quadro completamente novo e revelador. A primeira dessas questões incomodou profundamente os filósofos modernos e produziu muitas explicações fracassadas — embora fascinantes. A segunda, mais modesta, não resolveu o problema dos fundamentos. Na verdade, nem sequer o abordou, tentando mostrar que o mesmo não é relevante quando a prática científica inaugurada por Galileu está em ação. Espero que, ao final dessa caminhada, tenha ficado clara a minha proposta de analisar filosoficamente a física contemporânea sem contudo recorrer a uma filosofia de tipo fundante como queriam os modernos. Também espero que o quadro obtido seja suficientemente vivo e esclarecedor para convencer os leitores das vantagens da substituição de questões.

Termina aqui essa discussão. Como se pode ver, trata-se de um conjunto de indicações de trabalho para tratamento sistemático posterior, sujeitas às reformulações que normalmente são impostas por esse tipo de enfoque.

Referências bibliográficas

- BERNSTEIN, J., *As Idéias de Einstein*. Trad. de L. Hegenberg e O. S. da Motta. S. Paulo, Cultrix/EDUSP, 1975.
- BROCKMAN, J., *Einstein, Gertrude Stein, Wittgenstein e Frankenstein*. São Paulo, Cia. das Letras, 1988.
- CAPEK, M., *El impacto filosófico de la física contemporánea*. Madrid, Ed. Tecnos, 1973.
- D'ESPAGNAT, B., *Reality and the physicist. Knowledge, duration and the quantum world*. Transl. by J. C. Whitehouse and B. d'Espagnat. Cambridge, Cambridge Un. Press, 1989.
- DUQUESNE, M., *Matéria e Antimatéria*. São Paulo, Difel, 1961. Col. "Saber Atual".
- FEYERABEND, P., *Contra o Método*. Trad. de O. S. da Motta e L. Hegenberg. Rio de Janeiro, Francisco Alves, 1977.
- GALILEI, GALILEU. *O Ensaíador*. Trad. e notas de Helda Barraco. In: Bruno, Galileu, Campanella. S. Paulo, Abril Cultural, 1623, pp. 99-238. Col. "Os Pensadores".
- (1638). *Duas Novas Ciências, incluindo "Da Força de Percussão"*. Trad. de L. Mariconda e P. R. Mariconda. São Paulo, Museu de Astronomia, Instituto Cultural Ítalo-Brasileiro, Ed. Nova Stella, 1988.
- HEISENBERG, W., *Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science*. London, Allen & Unwin Ltd, 1959.
- KUHN, T. S., *The Structure of Scientific Revolutions*. Chicago, The Un. of Chicago Press, 2nd. ed., enlarged, 1970.
- LINDSAY, R. B. & MARGENAU, H., *Foundations of physics*. New York, Dover Publications, 1957.
- LORENTZ, H. A., EINSTEIN, A. & MINKOWSKI, H. (1978). *O Princípio da Relatividade*. Coletânea de artigos com um ensaio de H. Weyl, notas de O. Sommerfeld e prefácio de A. Blumenthal. Prefácio português de Manuel dos Reis. Trad. de Mario José Saraiva. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. Col. Textos Fundamentais da Física Moderna, vol. I.
- WITTGENSTEIN, L. (1969). *On Certainty*. Oxford, Basil Blackwell, 1979.

Notas

1. Cf. "Aspectos do problema da transmissão do movimento em Descartes", "Aspectos do problema da transmissão do movimento em Hobbes" e "Aspectos lógicos e filosóficos da crítica de Hume à causalidade". Tais textos deverão ser publicados oportunamente.
2. Ao dizer isso, referindo-me principalmente à confirmação experimental da hipótese geral estabelecida pela demonstração matemática da primeira etapa. O método de Galileu também envolve a possibilidade de fazer previsões em relação a fenômenos singulares. Por exemplo, o método permite a previsão da distância percorrida por um corpo em queda livre após, digamos, um tempo de trinta segundos, mesmo que, na confirmação da hipótese geral, o maior tempo considerado tenha sido de dez segundos. Desse modo, o método admite também a confirmação experimental de um fenômeno singular, aqui representado pela distância percorrida por um corpo em queda livre no tempo de trinta segundos. Mas a idealização

ainda estará presente, pois qualquer pequeno desvio na medida prevista será tomado como erro na medição, erro este proveniente da intervenção da subjetividade do cientista na medição.

3. Este assunto é discutido nos textos citados na nota 1.

4. Dentre os que não poderei tratar nos limites desta conferência, destacam-se os seguintes: a) busca da origem de nossos conhecimentos; e b) busca de um sistema explicativo único para toda a diversidade do real.

5. Seria interessante apontar para a relação entre a concepção que acabo de delinear e as idéias de Kuhn e Feyerabend aplicadas à física. Com respeito ao primeiro, sua noção de 'ciência normal' parece-me muito restritiva, tendendo a ocultar, sob a forma de um único 'paradigma', uma verdadeira multiplicidade de paradigmas alternativos. Isto ficará mais claro após as considerações que serão feitas na seção seguinte. Além disso, Kuhn parece estar preocupado com o mecanismo mais ou menos geral das revoluções científicas, e isso vai contra minha afirmação de que não existem tais mecanismos. Quando a Feyerabend, é certo que ele nos oferece uma visão multifacetada da atividade científica, na evolução da qual não há leis — e neste sentido ele apresenta um retrato que não apenas concorda inteiramente com a descrição que acabo de fazer, mas também aprofunda-a através de sua enorme erudição em história da ciência. Todavia, o tom geral da obra de Feyerabend parece-me antes *prescritivo* do que *descritivo*. Com efeito, ele não está apenas dizendo que a ciência possui um caráter plural, mas também que a ciência *deve* ser assim para poder evoluir. Ora, isto constitui uma afirmação muito forte que, se parece comprovada pela evolução da física desde Galileu até hoje, não expressa necessariamente uma lei. Podem ocorrer modificações na prática social que levem a um tipo de atividade científica na qual características inteiramente diferentes passem a dominar — e isto significaria um esvaziamento do caráter prescritivo da concepção desse autor (Cf. Kuhn 1970; Feyerabend 1977).

6. Neste ponto, cabe uma outra observação importante, a título de parêntese: levando em conta as considerações acima, não me parece que uma teoria pragmática no sentido estrito do termo possa ser 'transcendental'. Com efeito, o que caracteriza a teoria pragmática é o fato dela ser provisória. Em outras palavras, considerar que o 'verdadeiro' é aquilo que foi 'consensualmente adotado' envolve a troca de 'verdades' a partir das alterações do 'consenso'. Além disso, as condições exigidas para a obtenção de um dado consenso podem mudar historicamente. Ora, uma 'pragmática transcendental' tenta estabelecer as condições gerais de possibilidade para qualquer consenso, o que significa a imposição, em relação aos fatos sociais, de uma idéia filosófica pré-concebida. Na realidade, a pragmática transcendental parece trazer para o campo da análise da prática social exatamente aquele essencialismo do qual toda pragmática autêntica tenta se livrar. Apesar de muito resumidas em virtude das limitações impostas pela própria natureza do presente texto, essas observações parecem-me suficientemente claras para distinguir a concepção pragmática proposta de uma pragmática de tipo transcendental.

7. A isto poderíamos talvez acrescentar que a relatividade geral conteria, como casos limites, a relatividade especial e a mecânica newtoniana (Cf. Einstein 1916, in Lorentz *et alii* 1978: 204-8).

8. A generalização newtoniana, contudo, não é coisa pacífica. Como observa Feyerabend, "a teoria de Newton é incongruente com a lei da queda dos corpos, de Galileu, e com as leis de Kepler (...)" (Feyerabend 1975: 47-8).

9. Esta definição foi extraída de Northrop, F. S. C., *Introduction*, in: Heisenberg (1959: 21-2).

10. É interessante observar aqui que, para Heisenberg, isto significa que a teoria kantiana da causalidade deixa de ser satisfatória e deve ser reformulada (1959: 79-84).

11. Esta expressão é de Capek, de onde as informações que seguem foram extraídas (Cf. Capek 1973, cap. XV).

Endereço do autor:
Av. Antônio Carlos, 6627
31270-901 — Belo Horizonte — MG