

Este arquivo contém o texto completo do seguinte trabalho:

MARTINS, Roberto de Andrade. Descartes e a impossibilidade de ações à distância. In: FUKS, Saul (ed.). *Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998. Pp. 79-126.

Este arquivo foi copiado da biblioteca eletrônica do Grupo de História e Teoria da Ciência <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/>> da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), do seguinte endereço eletrônico (URL):

<<http://ghc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-62.pdf>>

Esta cópia eletrônica do trabalho acima mencionado está sendo fornecida para uso individual, para fins de pesquisa. É proibida a reprodução e fornecimento de cópias a outras pessoas. Os direitos autorais permanecem sob propriedade dos autores e das editoras das publicações originais.

This file contains the full text of the following paper:

MARTINS, Roberto de Andrade. Descartes e a impossibilidade de ações à distância. In: FUKS, Saul (ed.). *Descartes 400 anos: um legado científico e filosófico*. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1998. Pp. 79-126.

This file was downloaded from the electronic library of the Group of History and Theory of Science <<http://www.ifi.unicamp.br/~ghc/>> of the State University of Campinas (UNICAMP), Brazil, from following electronic address (URL):

<<http://ghc.ifi.unicamp.br/pdf/ram-62.pdf>>

This electronic copy of the aforementioned work is hereby provided for exclusive individual research use. The reproduction and forwarding of copies to third parties is hereby forbidden. Copyright of this work belongs to the authors and publishers of the original publication.

DESCARTES E A IMPOSSIBILIDADE DE AÇÕES À DISTÂNCIA

Roberto de Andrade Martins *

No século XVIII fez-se muitas vezes, ao estilo de Plutarco, a comparação ou confrontação entre Newton e Descartes. Não se faz mais isso, e compreendemos o porquê: a ciência cartesiana pertence ao passado, para nós, enquanto a ciência newtoniana, embora substituída pela mecânica relativista de Einstein e pela mecânica quântica, está sempre viva, e bem viva (Koyré, Études newtoniennes, p. 87).

A motivação deste trabalho é um conjunto de questões totalmente fora de moda: Será possível *compreender* as interações físicas? Em particular, haverá algum sentido em se pensar em forças físicas atuando à distância entre dois corpos? No século XVII, alguns autores aceitavam a possibilidade de ação à distância, e outros (incluindo Descartes) negavam essa possibilidade. Havia algum argumento *conclusivo* a favor ou contra essa concepção? Ao considerar seriamente tais questões, coloco-me sob o ponto de vista dos filósofos da natureza dos séculos XVII e XVIII, enfrentando algumas das perplexidades com que eles se defrontaram e saindo desse confronto tão derrotado quanto eles.

Esse é um tipo de preocupação que foge tanto aos interesses dos físicos atuais quanto dos historiadores da ciência. Os físicos interessam-se geralmente por questões históricas que possuem alguma relação com a ciência atualmente aceita – e a visão de Descartes foi a perdedora, no embate histórico dos séculos XVII-XVIII¹. Por outro lado, a moda atual em história da ciência é a análise de fatores sociais, e não de argumentos.

* Grupo de História e Teoria da Ciência – UNICAMP.

Adotando uma abordagem fora de moda, devo pedir desculpas aos leitores (não porque eu me envergonhe dela, mas porque posso ofendê-los). *Sei* que esse não é o enfoque histórico usual, mas penso que pode ser uma homenagem digna a Descartes retornar a seus próprios problemas e pontos de vista².

AS HIPÓTESES DE NEWTON SOBRE A GRAVIDADE

Associa-se popularmente ao nome de Newton a concepção de forças gravitacionais à distância. Vejamos, no entanto, como se deu a evolução de suas idéias a esse respeito.

Entre 1664 e 1665, enquanto estudava obras de Descartes, Charlestone e Boyle, a mente de Newton fervilhava com idéias a respeito da natureza da matéria e da explicação de suas propriedades. O caderno de anotações que Newton manteve nesse período foi conservado, e publicado alguns anos atrás³. O jovem pensador preocupava-se com a natureza da matéria, com a existência de átomos, do vácuo, de uma matéria-prima; e tentava explicar fenômenos como a coesão dos sólidos, a rarefação dos gases, o calor e o frio. Na busca de uma ontologia, Newton oscilava entre várias hipóteses, dialogando mentalmente com autores conflitantes, como Descartes – que negava a possibilidade do vácuo e de átomos – e Boyle, um dos principais defensores da “filosofia corpuscular” na Grã-Bretanha.

Nesse caderno de anotações estão os mais antigos registros dos pensamentos de Newton a respeito da gravidade⁴. Trata-se de meras anotações rápidas, e não de ensaios elaborados. Por isso é necessário um certo esforço para compreender o que Newton pensava. Uma de suas conjecturas iniciais era a de que a gravidade poderia ser produzida por um tipo de corrente de éter que viria do espaço em direção à Terra, com grande velocidade, impulsionando os corpos para baixo (ver Aiton, 1969). Para que não houvesse um crescente acúmulo de éter no interior da Terra, era necessário supor que esse éter saísse, de alguma forma. “Ele deve subir sob uma forma diferente daquela em que desceu, ou então teria uma força para transportar os corpos para cima, semelhante à que tem de pressioná-los para baixo, e assim não haveria gravidade. Deve subir sob uma consistência mais grosseira do que desce...” (Newton, “On gravity and levity”, in McGuire & Tamny, *Certain philosophical questions*, pp. 362-3, 19 97r).

O efeito dessa corrente ascendente seria menor, de tal forma que o efeito resultante seria um impulso dos corpos para baixo⁵.

Parece que essa hipótese foi o que levou Newton pela primeira vez a pensar sobre uma relação entre a gravidade e a distância ao centro da Terra, pois comentou: “A corrente que desce se tornará mais grossa à medida que se aproxima da Terra” (Newton, *in* McGuire & Tamny, *Certain philosophical questions*, pp. 364-5, 19 97r)⁶. Se a velocidade da corrente de éter fosse constante, mas sua densidade aumentasse à medida que ela se aproximava da Terra (por estar confinada em um espaço menor), a pressão produzida por essa corrente deveria aumentar. Assim, o peso de um corpo próximo à superfície da Terra deveria ser maior do que o do mesmo corpo longe da superfície. Na seqüência desses pensamentos, Newton sugeriu um dispositivo para comparar a gravidade de um corpo no topo e na base de uma colina, usando um tipo especial de balança de mola (Newton, *in* McGuire & Tamny, *Certain philosophical questions*, pp. 426-7, 67 121r).

Não apenas a gravidade, mas também outros tipos de forças seriam causados por correntes de éter. No caso do magnetismo, Newton supôs a existência de um fluxo circular de éter, que atravessaria os ímãs de um pólo para o outro, circulando pelo ambiente e retornando ao primeiro pólo – uma hipótese semelhante à que havia sido sugerida por Descartes (Descartes, *Principes de la philosophie*, parte 4, §§ 133-183, em Descartes, *Oeuvres*, vol. 9-2). No caso da gravidade e do magnetismo, nessa época, Newton estava portanto longe de imaginar a existência de forças à distância, atuando diretamente através do espaço vazio.

As hipóteses imaginadas por Newton não serviam apenas para dar conta dos fenômenos conhecidos. Ele procurava tirar novas conseqüências delas. Supondo que as forças magnéticas e da gravidade eram produzidas pelo éter, tornava-se plausível que pudessem ser encontrados, por isso, diversos efeitos novos. O peso poderia depender, por exemplo, da velocidade de queda do corpo, pois se um objeto estivesse caindo a uma grande velocidade, o efeito da corrente descendente de éter sobre ele deveria ser menor, e o efeito da corrente ascendente deveria ser maior. Assim, seu peso deveria diminuir com a velocidade de queda (Newton, *in* McGuire & Tamny, *Certain philosophical questions*, pp. 428-9, 68 121v). O peso poderia também ser influenciado pela condensação dos corpos, pela proximidade a outros corpos e pelo magnetismo. Newton sugeriu vários testes dessa hipótese:

Experimentar se o peso de um corpo pode ser alterado pelo calor ou frio, dilatação ou condensação, ao ser martelado, pulverizado, transferido a diversos lugares ou diversas alturas, ou colocando um corpo quente ou pesado sobre ele, ou abaixo dele, ou pelo magnetismo. Se o chumbo ou seu pó espalhado é mais pesado. Se uma placa é mais pesada deitada ou de pé. Se os raios da gravidade podem ser parados por reflexão, ou refratados. Se puderem, talvez possa ser construído um moto perpétuo de uma dessas duas maneiras (Newton, *in* McGuire & Tamny, *Certain philosophical questions*, pp. 430-1, 68 f. 121v).

Não se sabe se Newton realizou alguns ou todos esses testes. Posteriormente, ele parece ter ficado convencido de que nenhum desses efeitos existia, e que a atração gravitacional não dependia, por exemplo, da textura ou densidade dos corpos, mas apenas de sua massa (Newton, *Mathematical principles of natural philosophy*, livro III, proposição 6).

No caso dos ímãs, Newton especulou que a corrente de éter fluindo no espaço e retornando ao lado oposto do ímã poderia produzir efeitos interessantes: esse fluxo de partículas poderia fazer com que um “moinho de vento” de ferro girasse; e a corrente de partículas produzidas pelo magnetismo da Terra poderia ser usada para produzir um movimento perpétuo

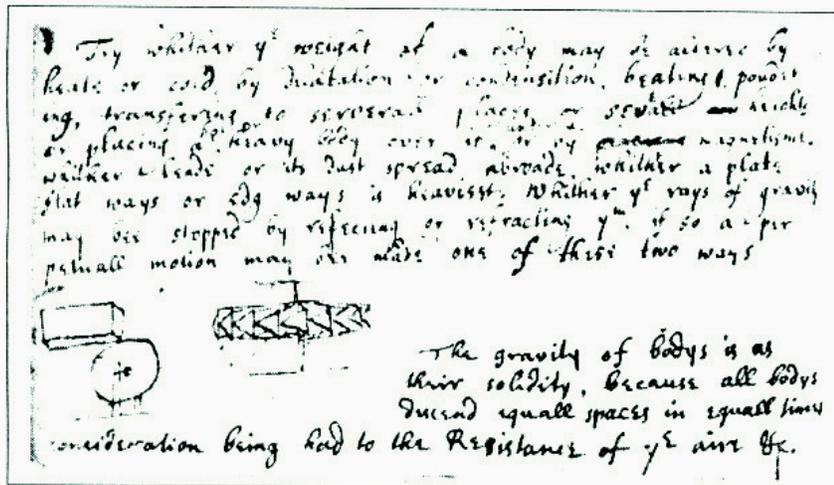


Figura 1. Reprodução de um trecho do mais antigo manuscrito conhecido de Newton sobre gravidade, onde ele apresenta considerações sobre a possibilidade de diversos efeitos especiais e a possibilidade de construção de dois tipos de moto contínuo (Manuscrito Add. 3996, Cambridge University Library, 68 f. 121v).

(Newton, *in* McGuire & Tamny, *Certain philosophical questions*, pp. 376-9, 29 102r).

Em 1672, Newton escreveu um ensaio denominado “Uma hipótese explicando as propriedades da luz”, no qual apresentou também algumas idéias sobre a causa da gravidade (Westfall, *Never at rest*, pp. 269-71). Segundo essa hipótese, a Terra estaria cercada e imersa em um certo tipo de éter, e teria o poder de condensar esse éter. Por esse motivo, o éter que circunda a Terra desceria, e seria novamente condensado, e assim por diante. O fluxo de éter em direção à Terra arrastaria os corpos, produzindo a gravidade. Da mesma forma, o Sol também absorveria grande quantidade de éter, produzindo assim uma atração indireta sobre os planetas (Cohen, *Isaac Newton's papers and letters on natural philosophy*, pp. 180-1).

Esses exemplos mostram que, no início de sua carreira, Newton se preocupava seriamente com explicações mecânicas das interações físicas. Seria isso uma fase temporária, logo substituída pela concepção de forças à distância? Não. Em diversas épocas, Newton tentou elaborar diferentes hipóteses mecânicas para explicar a gravidade (ver Rosenfeld, 1969). Uma dessas hipóteses foi a de um éter com densidade variável, que por causa dessa variação de densidade produziria um tipo de empuxo, empurrando os corpos para a Terra.

Vou apresentar mais uma conjectura, que veio à minha mente enquanto estava escrevendo esta carta; é sobre a causa da gravidade. Para isso, suporei que o éter consiste em partes que diferem uma da outra em sutileza, por graus indefinidos; que nos poros dos corpos há menos do éter grosseiro, em proporção ao mais fino, do que nos espaços abertos; e conseqüentemente que no grande corpo da Terra há muito menos do éter mais grosseiro, em proporção ao mais fino, do que nas regiões do ar; e que o éter mais grosseiro no ar afeta as regiões superiores da Terra, e o éter mais fino na Terra as regiões mais baixas do ar, de tal modo que do topo do ar até a superfície da Terra, e da superfície da Terra até seu centro, o éter é insensivelmente cada vez mais fino. Imagine agora qualquer corpo suspenso no ar ou jazendo sobre a Terra, e o éter sendo por hipótese mais grosso nos poros que estão nas partes superiores do corpo do que naqueles [poros] que estão em suas partes inferiores, e esse éter mais grosseiro sendo menos apto a se alojar naqueles poros do que o éter inferior mais fino, ele tentará sair e dar lugar ao éter mais fino de baixo, o que não pode ocorrer sem

que os corpos desçam para dar lugar acima deles para que ele [o éter mais grosseiro] saia (Newton, carta a Robert Boyle. 28 de fevereiro de 1679; em Thayer, *Newton's philosophy of nature*, p. 115-6).⁷

Há uma outra interessante hipótese da época, sugerida não por Newton e sim por Fatio de Duillier⁸. Ele imaginou um éter constituído por partículas que se movessem com grande velocidade para todos os lados (mais ou menos como a teoria cinética dos gases do século XIX, porém com enorme caminho livre médio). Através de suas colisões com os corpos materiais, essas partículas os empurrariam uns na direção dos outros, e esse efeito seria inversamente proporcional ao quadrado de suas distâncias⁹.

Fatio tornou-se amigo de Newton, e durante certo tempo ajudou-o a corrigir erros da primeira edição dos *Principia*, planejando uma nova edição (Westfall, *Never at rest*, p. 495; Cohen, *An introduction to Newton's 'Principia'*, pp. 177 e seguintes). Inicialmente, Newton parece ter considerado aceitável a explicação da gravitação que Fatio desenvolveu, e este escreveu orgulhosamente que Newton “não tinha escrúpulos de dizer que *Existe uma única causa Mecânica possível da Gravidade, a saber, aquela que eu encontrei*”¹⁰, embora, segundo o próprio Fatio, Newton preferisse considerar que a gravidade era produzida simplesmente pela vontade de Deus (Westfall, *Never at rest*, p. 495).

No *Opticks*, Newton recorreu à hipótese de um “espírito elétrico” que se espalhasse em torno dos corpos e servisse como intermediário nas ações à distância.

Cada modelo considerado por Newton trazia consigo um conjunto de problemas que ele não era capaz de resolver (e que talvez sejam de fato insolúveis). Em qualquer hipótese mecânica da gravitação, o éter deveria preencher o espaço entre os planetas e deveria resistir ao movimento dos astros. No entanto, o movimento periódico e regular dos planetas, de seus satélites e dos cometas não mostrava nenhum sinal dessa resistência (ver Newton, *Mathematical principles of natural philosophy*, livro III, proposição 10 e proposição 39, corolário iii). Além disso, a gravidade deveria poder ser influenciada por diversos fatores (como mostrado acima), mas esses efeitos pareciam não existir.

Na segunda edição dos *Principia*, publicada em 1713, Newton adicionou um famoso comentário:

Até aqui explicamos os fenômenos dos céus e de nosso mar pelo poder da gravidade, mas não assinalamos a causa da gravidade. Isso é certo, que deve provir de uma causa que penetra até os próprios centros do Sol e planetas, sem sofrer a menor diminuição em sua força; que não atua de acordo com a quantidade *das superfícies* das partículas sobre as quais age (como as causas mecânicas costumam fazer), mas de acordo com a quantidade de matéria *sólida* que contém; e propaga sua virtude a distâncias imensas, diminuindo sempre com o inverso do quadrado da distância. [...] Mas até aqui não fui capaz de deduzir a causa dessas propriedades da gravidade a partir dos fenômenos, e não invento hipóteses¹¹. Pois aquilo que não é deduzido dos fenômenos deve ser chamado de *hipótese*¹²; e hipóteses, sejam metafísicas ou físicas, sejam de qualidades ocultas ou mecânicas, não possuem lugar na *filosofia experimental*. Nessa filosofia, as proposições particulares devem ser inferidas dos fenômenos, e depois tornadas gerais por indução. [...] E para nós é suficiente que a gravidade realmente exista e atue de acordo com as leis que explicamos e que são suficientes para dar conta de todos os movimentos dos corpos celestes e de nosso mar (Newton, *Mathematical principles of natural philosophy*, p. 547; Newton, *Philosophiæ naturalis principia mathematica*, vol. 2, p. 764).¹³

É difícil interpretar de um modo coerente todo o pensamento de Newton a respeito das interações gravitacionais. Podemos no entanto reconstruir o pensamento maduro de Newton aproximadamente da seguinte forma:

- seria desejável dispor de uma explicação mecânica da gravitação, porém não existe nenhum modelo aceitável;
- é possível e útil utilizar a força inexplicada da gravitação para explicar diversos fenômenos;
 - a lei da gravitação é justificada pela indução;
 - ela deve ser aceita até que sejam encontradas exceções;
- nesse sentido, pode-se introduzir “ação à distância” na filosofia natural.

Essa é a visão que encontramos, por exemplos, nos *Principia* e em uma série de famosas cartas de Newton:

Você algumas vezes fala sobre a gravidade como essencial e inerente à matéria. Rogo-lhe que não atribua a mim essa noção; pois eu

não finjo conhecer a causa da gravidade, e por isso dedicaria mais tempo a considerá-la (carta de Newton para Bentley, 17 de janeiro de 1693; ver Cohen, *Isaac Newton's papers and letters on natural philosophy*, p. 298; Thayer, *Newton's philosophy of nature*, p. 53; Newton, *Correspondence*, vol. 3, p. 240).

É inconcebível que a matéria bruta inanimada possa, sem a mediação de alguma outra coisa que não é material, operar sobre outra matéria e afetá-la sem contato mútuo, como deveria acontecer se a gravitação [...] fosse essencial e inerente nela. E essa é uma razão pela qual eu desejei que você não me atribuisse a "gravidade inata". Que a gravidade possa ser inata, inerente e essencial à matéria, de modo que um corpo possa atuar sobre um outro à distância no vácuo sem a mediação de qualquer outra coisa pela qual sua ação e força possa ser transportada de um para outro, é para mim um absurdo tão grande que eu acredito que nenhuma pessoa que tenha uma faculdade competente de pensamento em assuntos filosóficos possa jamais cair nele (carta de Newton a Bentley, 25 de fevereiro de 1693; ver Cohen, *Isaac Newton's papers and letters on natural philosophy*, pp. 302-3; Thayer, *Newton's philosophy of nature*, p. 54; Newton, *Correspondence*, vol. 3, p. 253-4).

No mesmo ano, respondendo a uma carta de Leibniz, Newton escreveu:

Pois como os movimentos celestes são mais regulares do que se viessem de vórtices e obedecessem a outras leis, os vórtices em nada contribuem para regular e sim para perturbar os movimentos dos planetas e cometas; e como todos os fenômenos dos céus e do mar seguem-se precisamente, tanto quanto estou ciente, apenas de que a gravidade age de acordo com as leis descritas por mim; e como a natureza é muito simples, eu próprio concluí que todas as outras causas devem ser rejeitadas, e que os céus devem ser despidos tanto quanto possível de matéria, caso contrário o movimento dos planetas e cometas seria impedido e tornado irregular. Mas se, enquanto isso, alguém explicar a gravidade e todas as suas leis pela ação de alguma matéria mais sutil, e mostrar que o movimento dos planetas e cometas não será perturbado por essa matéria, eu estarei longe de objetar (Newton, carta para Leibniz, 16 de outubro de 1693; em Newton, *Correspondence*, vol. 3, pp. 287).

Não havia, portanto, uma *oposição* de Newton a explicações mecânicas da gravitação.

Posteriormente, no entanto, Newton escreveu de um modo que foi interpretado algumas vezes como uma aceitação de ação direta à distância:

Não terão as pequenas partículas dos corpos certos poderes, virtudes, ou forças, pela quais agem à distância, não apenas sobre os raios de luz para refleti-los, refratá-los e dobrá-los, mas também um sobre o outro para produzir uma grande parte dos fenômenos da natureza? (Newton, *Opticks*, livro III, proposição 31).

Seria isso uma declaração de que a ação direta à distância era aceitável? Segundo Westfall, a visão de Newton sobre as forças foi fortemente influenciada por seus estudos químicos/alquímicos, e o estudo das variações de reações químicas entre diferentes substâncias, mostrando diferentes afinidades químicas, parece ter levado Newton a supor que seria impossível explicar esses fenômenos por hipóteses puramente mecânicas (Westfall, *Never at rest*, pp. 388-90).

No entanto, mais adiante, no mesmo texto, Newton afirmou:

Pois é bem sabido que os corpos agem um sobre o outro pelas atrações da gravidade, magnetismo e eletricidade; e esses exemplos mostram o teor e curso da Natureza, e fazem não ser improvável que possam existir mais poderes atrativos além desses. [...] Eu não considero aqui como essas atrações podem ser realizadas. O que eu chamo de atração pode ser realizado por impulso, ou por algum outro meio desconhecido por mim. Eu uso essa palavra aqui apenas para significar em geral qualquer força pela qual os corpos tendam um para o outro, seja qual for a causa. Pois devemos aprender dos fenômenos da Natureza quais corpos se atraem, e quais são as leis dessa atração, antes de investigarmos a causa pela qual a atração é realizada (Newton, *Opticks*, livro III, proposição 31).

Parece-me, além disso, que essas partículas possuem não apenas uma *vis inertiae*, acompanhada pelas leis passivas do movimento que naturalmente resultam daquela força, mas que também são movidas por certos princípios ativos, tais como o da gravidade, e aquele que causa fermentação, e a coesão dos corpos. Esses princípios, eu não

considero como qualidades ocultas, que resultassem de formas específicas das coisas, mas como leis gerais da natureza, pelas quais as próprias coisas são formadas; sua verdade nos aparecendo pelos fenômenos, embora suas causas ainda não tenham sido descobertas (Newton, *Opticks*, livro III, proposição 31).

Em cartas de Newton a Cotes, 28 e 31 de março de 1713, e de Cotes a Newton, 18 de fevereiro de 1713, podemos encontrar um sentido mais “pretensioso” ao seu *hypotheses non fingo*: Newton parece considerar nessa época como ilegítima (ou pelo menos desnecessária) a busca de hipóteses, como no newtonianismo posterior (Westfall, *Never at rest*, p. 748-9; Cohen, *Introduction to Newton's 'Principia'*, p. 239).

Newton parece ter oscilado entre a tradição mecanicista (adotada por Descartes) e uma tradição neoplatônica e alquímica, que admitia certos “espíritos” e princípios ativos que não podiam ser reduzidos à mecânica pura (ver McMullin, *Newton on matter and activity*, especialmente cap. 4).

É muito curioso um manuscrito de Newton, escrito aproximadamente em 1692, no qual ele explica a atração gravitacional como devida à ação de Deus:

Pois dois planetas separados um do outro por uma longa distância que está vazia não se atraem mutuamente por qualquer força de gravidade, nem atuam um sobre o outro de modo nenhum, exceto pela mediação de algum princípio ativo que intercede entre eles, pelo qual a força é transmitida de um para o outro. E assim aqueles Antigos que compreenderam corretamente a filosofia mística ensinaram que um certo espírito infinito permeia todo o espaço e contém e vivifica o mundo universal; [...] nele nós vivemos e movemos e temos nosso ser. Portanto o Deus onipresente é reconhecido e chamado pelos Judeus de Lugar. [...] Por este Símbolo os Filósofos ensinaram que a matéria é movida naquele espírito infinito e é influenciada por ele, não de um modo irregular, mas harmonicamente e de acordo com as razões harmônicas como eu expliquei (Newton, manuscrito Cul, Add. 3965.6, f. 269; *apud* Westfall, *Never at rest*, pp. 510-1)

Aparentemente, Newton pretendia publicar idéias como essa, atribuindo a gravidade à ação de Deus, nas questões finais do *Opticks*, mas desistiu no último momento (Westfall, *Never at rest*, p. 647).

Seja como for, o newtonianismo, desenvolvido a partir do século XVIII, adotou os princípios de que existem forças à distância *propriamente ditas*, e que é inútil e/ou indesejável tentar explicar essas forças através de modelos mecânicos. E é essa posição que iremos discutir.

A CRÍTICA DE DESCARTES À AÇÃO À DISTÂNCIA

Em seus *Princípios da filosofia*, Descartes havia tentado explicar a força da gravidade através de um modelo mecânico. Vamos fazer uma rápida revisão da teoria de Descartes.

Na cosmologia cartesiana, todo o universo é preenchido por matéria (não é possível o vácuo) (Descartes, *Principes de la philosophie*, Parte 2, §§ 4-19, em Descartes, *Oeuvres*, vol. 9-2). Essa matéria é essencialmente inerte, passiva; apenas conserva o movimento, não possuindo poderes, qualidades nem forças. O universo recebeu um movimento inicial de Deus e conservou esse movimento (Descartes, *Principes de la philosophie*, Parte 2, § 36, em Descartes, *Oeuvres*, vol. 9-2). A matéria universal se organizou sob a forma de grandes turbilhões ou vórtices, no centro de cada um dos quais se aglomerou a matéria mais sutil (“primeiro elemento”), gerando as estrelas (Descartes, *Principes de la philosophie*, Parte 3, §§ 46-54, em Descartes, *Oeuvres*, vol. 9-2). Em volta de cada estrela haveria um turbilhão de matéria transparente, invisível, “líquida”, transportando os planetas (o “segundo elemento” de Descartes, posteriormente chamado de “éter”). Cada planeta, por sua vez, teria à sua volta um vórtice secundário (Descartes, *Principes de la philosophie*, Parte 3, §§ 119-154, em Descartes, *Oeuvres*, vol. 9-2). O vórtice que cerca a Terra carregaria a Lua¹⁴.

Segundo Descartes, seria o próprio turbilhão da Terra que produziria a gravidade (Descartes, *Principes de la philosophie*, Parte 4, §§ 20-27, em Descartes, *Oeuvres*, vol. 9-2). O argumento é aproximadamente o seguinte: se um líquido se move em círculos, todas as suas partículas tendem a se afastar do centro e mover-se em linha reta (por aquilo que chamamos de inércia). Quanto mais rápido o movimento circular, maior essa tendência a se afastar do centro. Se houver um líquido em rotação muito rápida, e dentro dele partículas com rotação mais lenta, essas partículas terão menor tendência a se afastar do centro, e serão empurradas pelo líquido em direção ao centro. Seria exatamente isso que ocorreria nas proximidades da Terra: segundo Descartes, os corpos terrestres giram lentamente em torno

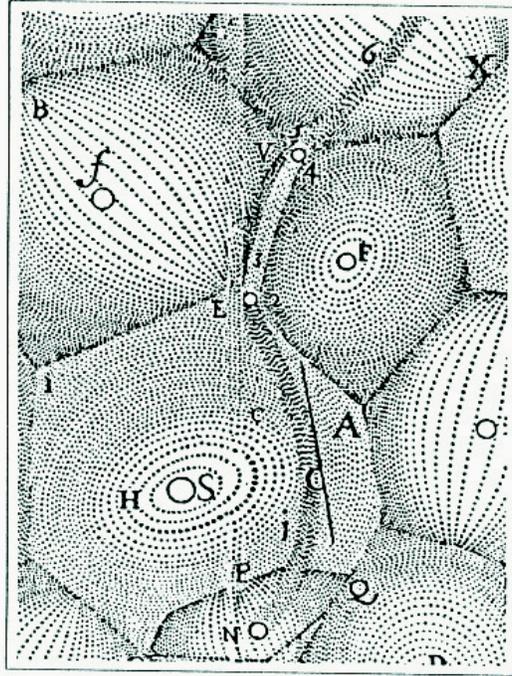


Figura 2. Os vórtices de Descartes, conforme representados na sua obra *Principes de la philosophie*.

do eixo da Terra, enquanto o segundo elemento do vórtice terrestre gira muito rapidamente; por isso, os corpos terrestres são empurrados, pelo material do vórtice, em direção à Terra.

A hipótese de Descartes era bastante engenhosa, mas tinha muitas dificuldades. A mais evidente era que, como o vórtice terrestre giraria em torno do eixo da Terra, a força da gravidade seria também dirigida para o eixo da Terra, e não para o centro terrestre. Posteriormente, Huygens tentou aperfeiçoar a proposta de Descartes, supondo que havia em torno da Terra um tipo de éter constituído por partículas circulando em torno do centro da Terra em todas as direções possíveis. A simetria esférica desses movimentos explicaria a direção central da força da gravidade (Huygens, *Discours de la cause de la pesanteur*, p. 135).

O que Descartes diria sobre uma teoria de gravitação envolvendo ação à distância? Descartes, evidentemente, não ouviu falar sobre a teoria de Newton, já que morreu em 1650, enquanto este era criança¹⁵;

mas fez comentários sobre uma teoria proposta em 1644 por Giles Personne de Roberval, que era *qualitativamente* semelhante à gravitação newtoniana¹⁶.

Em sua obra *Aristarchus*¹⁷, Roberval procurava explicar o movimento dos planetas e da Lua, assim como as marés, assumindo atrações mútuas entre todas as partes da matéria. Mersenne enviou a Descartes o livro de Roberval, pedindo sua opinião. Descartes demorou muito a responder, mas depois, diante da insistência de Mersenne, escreveu-lhe uma carta¹⁸ criticando violentamente o trabalho de seu inimigo. A carta de Descartes, em latim, foi encaminhada por uma outra carta, em francês, de mesma data (Descartes, *Correspondence*, vol. 7, p. 41-44; *Oeuvres*, vol. 4, p. 391), onde Descartes comentou:

Envio-vos aqui algumas das falhas que notei no *Aristarchus*, e digo-vos, entre nós, que tenho tantas provas da mediocridade do conhecimento e do espírito do seu autor, que me parece admirável que ele tenha adquirido alguma reputação em Paris (Descartes, *Correspondence*, vol. 7, p. 42).

Descartes discutiu apenas alguns aspectos do livro de Roberval, especialmente sua explicação dos movimentos dos corpos celestes.

Ora, para explicar o primeiro ponto, que se refere à situação das partes do universo, ele supõe [...] 3º que toda a matéria do universo e cada uma de suas partes tem uma certa propriedade, em virtude da qual toda essa matéria se une e se junta em um só corpo contínuo, cujas partes, por um esforço contínuo, tentam se juntar umas às outras, atraindo-se reciprocamente entre si, para ficar o mais estreitamente juntas que seja possível; 4º Que todas as partes da terra, da água e do ar possuem também uma propriedade semelhante, pela qual se atraem também reciprocamente umas às outras, e se esforçam por se unir; *de modo que cada uma delas (e o que digo aqui sobre as partes da terra, ou do ar, deve ser também entendido daquelas que compõem ou que cercam os outros planetas) possuem em si essas duas virtudes, uma que os une com as outras partes de seu planeta, e outra que os une com o resto das partes do universo. E todos esses fatos são sem dúvida muito menos inteligíveis do que a própria situação das partes do universo, que ele quer explicar através deles* (Descartes, *Correspondence*, vol. 7, pp. 47-49).

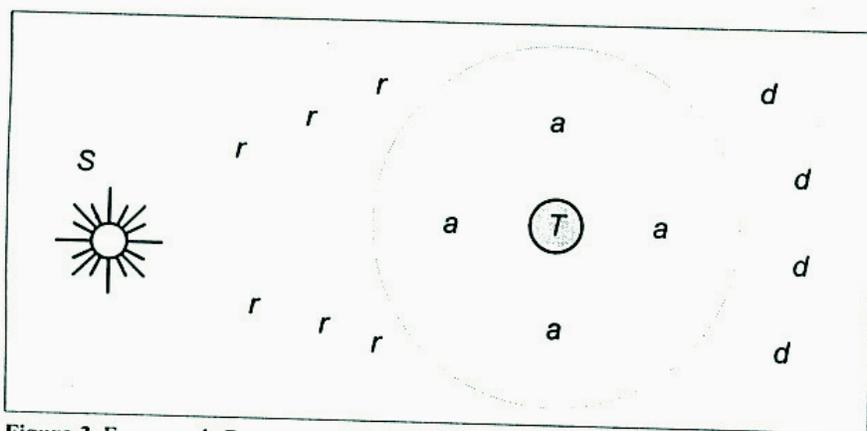


Figura 3. Esquema de Descartes, apresentado na carta onde discute a teoria de Roberval a respeito da atração à distância entre todos os tipos de matéria.

Enfim, o que ele adiciona é extremamente absurdo [*absurdissimum*], ou seja, que cada partícula de matéria do mundo tem certa propriedade, cuja força aproxima cada uma das outras, com atrações recíprocas; e de forma semelhante, que cada parte de matéria terrestre tem uma propriedade semelhante com relação às outras partes terrestres, que não atrapalha as anteriores. Pois para compreender isso, seria necessário não apenas supor que cada partícula de matéria é animada, e com diversas almas diferentes que não se impedem uma à outra, mas também que cada alma é inteligente e mesmo divina, de modo que pode saber o que acontece em lugares distantes dela, sem qualquer mensageiro intermediário, e lá exercer o seu poder.

Pois ele supõe que elas possuem uma virtude tal que, se por exemplo *S* é o Sol, *T* a Terra, *aa* o ar que cerca a Terra, *dd* as partes mais espessas do Céu e *rr* as mais rarefeiras, cada uma das partes da terra *T* tende para *dd*, e pelo contrário todas as do ar em torno tendem para *rr*, embora não deixem de permanecer suspensas, como representadas aqui, entre *dd* e *rr*, pela força de algumas outras virtudes que, prendendo todas as partes do ar à terra, impedem que elas se separem e se espalhem do conjunto. Ora, por qual instinto todas as partes da Terra podem adivinhar que elas devem tender para *dd* e não para *rr*, para onde tende todo o ar que a cerca; e por qual força ou virtude podem elas atrair reciprocamente a matéria que está do lado de *dd*, se elas não forem dotadas de um conhecimento e de um poder divinos?

Se for possível imaginar assim qualquer tipo de força em cada corpo, não será difícil imaginar alguma que explicará facilmente qual-

quer efeito conhecido (Descartes, carta a Mersenne, 20 de abril de 1646, em Descartes, *Correspondence*, vol. 7, pp. 51-53)

Esse comentário de Descartes pode nos parecer despropositado. Mas vamos examinar o que ele quer dizer. Fomos educados dentro da tradição do newtonianismo, e estamos acostumados a pensar que duas partículas distantes podem exercer efeitos (gravitacionais, elétricos etc.) uma sobre a outra. Mas tentemos nos colocar *dentro* de uma dessas partículas materiais e imaginar como ela pode ser atraída ou produzir atrações pelas outras partículas de matéria do universo, à distância. Para ser atraída em uma certa direção, com certa força (que depende da distância), essa partícula deve “saber” onde estão as outras partículas do universo – e isso através de um poder telepático, já que ela não tem visão nem outros sentidos. Por outro lado, para poder produzir uma atração sobre corpos distantes, ela precisa ser capaz de agir sem intermediários sobre um local onde ela não está. Podemos aceitar a existência de algo desse tipo? Para Descartes, isso é absurdo. Supor ações à distância conflitava totalmente com seu princípio de apenas admitir idéias claras e distintas e de se basear apenas nas propriedades mais simples da matéria:

Adiciono francamente aqui que não conheço outra matéria das coisas corporais do que aquela que pode ser dividida, que pode adquirir forma e que pode ser movida de todos os modos, quer dizer, aquilo que os Geômetras chamam de quantidade e que eles tomam por objeto de suas demonstrações; e só considero, nessa matéria, suas divisões, suas formas e seus movimentos; e enfim que, com relação a isso, não desejo receber como verdadeiro nada que não tenha sido deduzido daí com tanta certeza, que possa ser tomado como uma demonstração Matemática. E como dessa forma se pode explicar todos os Fenômenos da natureza, como se poderá julgar por tudo o que se segue, não penso que se deve acatar outros princípios na Física, nem mesmo que se tenha razão de desejar outros além dos que são explicados aqui (Descartes, *Principes de la philosophie*, parte 2, § 64).¹⁹

E para outros pensadores da época – seria realmente impossível conceber ação à distância? Para responder a essa questão, vamos examinar rapidamente como a questão foi respondida por alguns autores representativos, em várias épocas anteriores.

ATRAÇÕES E AÇÃO À DISTÂNCIA ANTES DE DESCARTES

Desde a Antigüidade, sabia-se que alguns corpos especiais pareciam puxar para si outros corpos (magnetismo, eletricidade). A palavra “atração”, no entanto, tinha conotação antropomórfica, significando um tipo de desejo e implicando, por isso, a existência de uma alma. Essa seria uma explicação plausível para a suposta atribuição de uma alma ao ímã por Tales de Mileto.

A partir do que eles relatam, Tales, também, parece ter suposto que a alma era algo que produz movimento, se ele disse que o ímã possui alma porque move o ferro (Kirk, Raven & Schofield, *The presocratic philosophers*, p. 95).

Nem todos, no entanto, tinham esse tipo de interpretação. Diógenes de Apolônia teria tentado explicar a ação dos ímãs supondo a existência de certas emanções emitidas por todos os corpos, porém mais fortemente pelo ferro e pelo bronze. O ímã absorveria essa emanção em uma quantidade maior do que a que emite, e por isso atrairia esses metais para si (Kirk, Raven & Schofield, *The presocratic philosophers*, p. 447).

Platão, no *Timeu*, tentou explicar a ação dos ímãs por pressão do ar, e pelo horror ao vácuo – uma explicação que foi também proposta por Empédocles e Plutarco (Cornford, *Plato's cosmology*, pp. 326-7).

Há, além disso, o fluxo das correntes de água, a queda dos raios e as maravilhas que são observadas sobre a atração do âmbar e dos ímãs [pedras de Hércules]. Em nenhum desses casos existe qualquer atração, mas aquele que investigar corretamente encontrará que tais fenômenos maravilhosos podem ser atribuídos à combinação de certos efeitos – a inexistência de um vácuo, o fato de que os objetos se empurram um ao outro em um círculo, e que trocam de lugares, passando para suas posições respectivas quando são divididos e combinados (Platão, *Timaeus*, 80 b-c).

O rompimento mais claro com interpretações antropomórficas foi representado pelos atomistas, que só admitiam que os átomos pudessem agir pelo contato direto, explicando o magnetismo por correntes de átomos que fluíam do ímã até o ferro e o puxavam de volta (ver Lucretius, *De la nature*,

livro 6, 998-1064)²⁰. Aristóteles também negou a possibilidade de ação direta à distância:

Mas se (como vemos ocorrer universalmente) aquilo que é movido primariamente localmente e corporalmente deve ou estar em contato com ou ser contínuo com aquilo que o move, as coisas movidas e os moventes devem ser contínuos ou estar em contato um com o outro, de modo que juntos eles formam uma única unidade (Aristóteles, *Physica*, livro vii, cap. 1, 242 b 23-26).

Aquilo que é o primeiro movimento de uma coisa – no sentido de que supre a fonte de movimento, e não “aquilo para cujo fim” [ela se move] – está sempre junto com aquilo que é movido por ele (por “junto” quero dizer que não há nada intermediário entre eles). Isso é verdade universalmente sempre que uma coisa é movida por outra (Aristóteles, *Physica*, livro vii, cap. 1, 243 a 3-6).

A impossibilidade de ação à distância foi depois assumida sem discussão e incorporada à filosofia de Tomás de Aquino, que afirmou que mesmo Deus só pode agir onde ele está:

QUESTÃO VIII, Artigo 1. Está Deus em todas as coisas?

[...] Respondo que Deus está em todas as coisas; não como parte da essência delas, nem como um acidente; mas como um agente que está presente em relação àquilo sobre o que opera. Pois um agente deve estar unido àquilo no qual age imediatamente, e tocá-lo por seu poder; pois está provado na física que a coisa movida e o motor devem estar juntos.

[...] Resposta à Objeção 3. Nenhuma ação de um agente, por mais poderoso que ele possa ser, age à distância exceto através de um intermediário. Mas pertence ao enorme poder de Deus que Ele atua imediatamente em todas as coisas. Portanto nada está distante Dele, como se não tivesse Deus nele (Aquinas, *Summa theologica*, Parte I, questão viii, artigo 1, pp. 34-35).

É curioso que podemos encontrar um eco dessa idéia em Newton:

[...] e o instinto dos animais e dos insetos não pode ser o efeito de nada mais do que da sabedoria e engenho de um agente

eterno, poderoso, *que estando em todos os lugares, é mais capaz por Sua vontade de mover os corpos dentro de Seu sensório ilimitado e uniforme* e assim formar e reformar as partes do Universo, do que nós somos [capazes] por nossa vontade de mover as partes de nossos próprios corpos (Newton, *Opticks*, livro III, parte 1, proposição 31).

Nem todos os pensadores medievais seguiram a linha de Aristóteles e Tomás de Aquino. Petrus Peregrinus de Maricourt, aproximadamente em 1269, explicou a atração magnética como a ação do ativo sobre o passivo: “Como você perceberá por este experimento, o agente ativo deseja se tornar um com o sujeito passivo por causa da semelhança que existe entre eles” (Maricourt, *apud Grant, A source book in medieval science*, p. 372). Não existia, nesse caso, nenhuma tentativa de explicar a atração por qualquer corpo intermediário.

No início do período científico moderno, o principal estudioso do magnetismo foi William Gilbert. Ele discutiu detalhadamente as diversas hipóteses dos antigos a respeito da atração²¹ magnética, tal como a de Platão que a explicava pela ação do ar, e rejeitou a possibilidade de que ela fosse produzida por algum tipo de eflúvio de átomos, pelo ar, ou por qualquer outro meio físico entre o ímã e o ferro, pois os efeitos do magneto não são afetados quando se coloca uma placa de mármore ou uma chama entre ele e um pedaço de ferro.

Como, então, explicar os efeitos magnéticos?

Portanto, aquilo que emana do ímã, ou entra no ferro, ou que sai novamente do ferro despertado, não é corpóreo; mas um ímã envia sua influência sobre um outro ímã por sua forma primária (Gilbert, *On the loadstone*, livro 2, cap. 4, p. 38).

Rejeitando as explicações mecânicas, Gilbert adotou uma posição muito semelhante à de Tales. Pode-se pensar que Gilbert era ingênuo, e que aceitava de forma acrítica a idéia de ações à distância. É relevante, por isso, notar que ele negava que existisse uma atração direta em diversos fenômenos nos quais outros autores (como Galeno) admitiam ação à distância – por exemplo, na ação de remédios e na atração de umidade por raspas de marfim:

E assim diz-se que muitos corpos atraem, embora o fundamento de sua ação deva ser procurado em outra parte (Gilbert, *On the loadstone*, livro 2, cap. 2, p. 29).

No caso da atração elétrica, Gilbert discutiu detalhadamente a possibilidade de que o movimento do ar estivesse envolvido, empurrando os corpos em direção ao corpo atritado, mas negou-a através de diversos experimentos.

Portanto é provável que o âmbar exale algo peculiar que atraia os próprios corpos, e não o ar. Ele claramente atrai o próprio corpo no caso de uma gota esférica de água que repouse sobre uma superfície seca; pois um pedaço de âmbar mantido a uma distância adequada puxa para si as partículas mais próximas e as traciona em um cone; se elas fossem empurradas pelo ar, a gota inteira viria em direção ao âmbar. E que o âmbar não atrai o ar é provado assim: tome uma vela de cera muito fina, que produza uma chama muito pequena e clara; coloque um pedaço largo, chato de âmbar ou resina, cuidadosamente preparado e atritado, a uns dois dedos de distância dela; um pedaço de âmbar que atrai corpos de uma distância considerável não causará movimento na chama, embora tal movimento fosse inevitável que o ar se movesse, pois a chama seguiria a corrente de ar (Gilbert, *On the loadstone*, livro 2, cap. 2, p. 31).

Gilbert atribuiu os efeitos elétricos a eflúvios semelhantes a filamentos materiais, que saíam dos corpos atritados e se prenderiam aos corpos próximos, até que sua força se esgotasse (Gilbert, *On the loadstone*, livro 2, cap. 2, p. 34).

O critério básico de Gilbert para aceitar a existência de um intermediário nas ações à distância era a possibilidade de interferir ou impedir essa ação através de um corpo intermediário. Por isso, ele afirmou que a Lua age diretamente sobre as águas dos mares e produz as marés de um modo semelhante à ação dos ímãs:

A ação da Lua sobre as águas do mar seria semelhante a essa, porque a Lua age e produz marés mesmo quando não está visível – portanto, seu poder atravessa o corpo inteiro da Terra, e essa ação não pode ser explicada por nenhum mecanismo (Gilbert, *On the loadstone*, livro 2, cap. 16, p. 47).

Para Gilbert, portanto, a existência de ações diretas à distância (sem intermediários materiais) era uma questão que deveria ser submetida a testes experimentais, e não poderia ser decidida simplesmente por argumentos *a priori*.

Inspirando-se provavelmente em Gilbert, Francis Bacon aceitou igualmente a possibilidade tanto de ações por contato como de ações à distância:

Muitos poderes atuam e produzem efeitos apenas pelo contato real, como na percussão de corpos, onde um não remove o outro a menos que aquele que impulsiona toque o corpo impulsionado. [...]

Outros poderes atuam à distância, embora ela seja pequena [...]; isso acontece (para utilizar exemplos do cotidiano) quando o âmbar ou resina atrai palhas, quando bolhas dissolvem bolhas, quando alguns remédios purgantes atraem humores de cima, e coisas semelhantes. O poder magnético pelo qual o ferro e o ímã, ou dois ímãs, se atraem, age dentro de uma esfera definida e estreita, mas se existir algum poder magnético que emana de baixo da superfície da Terra, e afeta a agulha [magnética] em sua polaridade, ele deve atuar a uma grande distância (Bacon, *New organon*, Livro II, § 45, p. 221) [cf. Livro II, § 46, p. 225].

Mas como se poderia saber se um efeito produzido à distância é realizado diretamente, ou através de um intermediário? Bacon utilizou o critério de Gilbert: se a ação não for impedida ou modificada por nada entre os corpos, então a ação à distância é direta.

No caso dos raios de luz, som, e calor, e alguns outros objetos que atuam à distância, é realmente provável que os corpos intermediários sejam preparados e alterados, principalmente porque se exige um meio especial para sua ação. Mas o poder magnético ou atrativo admite um meio qualquer, e não é impedido por nenhum²². Mas se esse poder ou ação é independente do corpo intermediário, segue-se que é um poder ou ação natural que existe em certo tempo e espaço sem qualquer corpo, pois não reside nem nos corpos extremos nem nos intermediários. Portanto a ação magnética pode ser tomada como um exemplo de divórcio entre natureza corpórea e ação natural; e devemos adicionar, como um corolário e avanço que não deve ser negligenciado, que isso pode ser tomado como prova de que a essência e a subs-

tância são separadas e incorpóreas, mesmo por aqueles que filosofam de acordo com os sentidos (Bacon, *New organon*, livro 2, § 37, pp. 203-4).

Portanto, no início do século XVII, encontramos duas abordagens distintas do problema de ação à distância. Por um lado, a tradição aristotélica que considerava impossível qualquer influência direta de um corpo sobre um outro distante. Por outro lado, a visão de Gilbert e de Bacon que aceitava a possibilidade de ação direta à distância, estabelecendo um critério empírico para diferenciar a ação direta de outras indiretas.

A VISÃO DE DESCARTES SOBRE A AÇÃO À DISTÂNCIA

Seria a negação por Descartes da possibilidade de ação direta à distância um simples retorno à filosofia de Aristóteles? Podemos perceber claramente que não. Descartes utilizava uma teoria completamente diferente da aristotélica para explicar movimentos, negando a existência de qualquer causa interna de movimento. Mas o ponto principal é que Descartes negava as *qualidades secundárias* ou formas, na matéria, restringindo-se estritamente a qualidades primárias e causas mecânicas.

Assim, primeiramente, descrevi essa Matéria e tentei representá-la de tal modo que me pareceu que nada no mundo poderia ser mais claro nem mais inteligível, exceto o que já foi dito sobre Deus e a Alma; pois até mesmo assumi, expressamente, que não havia nela nenhuma dessas Formas ou Qualidades sobre as quais se discute nas Escolas, nem geralmente nada cujo conhecimento não fosse tão natural para nossas almas que ninguém pudesse sequer fingir ignorá-lo (Descartes, *Discours de la méthode*, parte v, pp. 42-43; em Descartes, *Oeuvres*, vol. 6).

De acordo com o relato do próprio Descartes, inicialmente ele aceitava que a gravidade fosse devida a alguma “qualidade real”, semelhante à mente, e depois percebeu que estava enganado:

Como eu concebia a gravidade, por exemplo, sob a forma de uma qualidade real de certo tipo, que residia nos corpos sólidos, embora eu a chamasse de *qualidade*, enquanto a referia aos corpos nos quais esta-

va presente, no entanto, já que eu adicionava que ela era *real*, eu pensava na verdade que fosse uma substância; [...] E embora eu imaginasse que a gravidade estivesse difusa através de todo o corpo que possuísse peso, no entanto eu não lhe atribuía a própria extensão que constitui a natureza do corpo; pois a extensão verdadeiramente corporal é de natureza tal a evitar qualquer interpenetração de partes. Ao mesmo tempo eu acreditava que havia tanta gravidade em um homem de ouro ou de algum outro metal de um pé de comprimento, quanto em um pedaço de madeira com dez pés de comprimento; eu acreditava que ela estava toda contraída em um ponto matemático. De fato eu via que enquanto ela permanecesse coextensiva com o corpo pesado, ela poderia exercer sua força em qualquer ponto do corpo, porque fosse qual fosse a parte à qual se prendesse uma corda, ele puxava a corda com todo o seu peso, exatamente como se a gravidade residisse apenas na parte que a corda tocasse e não estivesse espalhada pelas outras. Realmente, era da mesma forma que eu compreendia que a mente era coextensiva com o corpo, o todo no todo, e o todo em cada uma de suas partes. *Mas o sinal principal de que minha idéia da gravidade provinha daquela que eu tinha da mente, é que eu pensava que a gravidade carregava os corpos para o centro da terra como se ela contivesse algum conhecimento daquele centro dentro de si. Pois não poderia atuar como o fazia sem conhecimento, nem pode existir qualquer conhecimento e não ser na mente.* Ao mesmo tempo, eu atribuía também à gravidade certas coisas que não podem ser aplicadas à mente no mesmo sentido: por exemplo, que era divisível, mensurável etc. (Descartes, *Meditationes de prima philosophia, Sextae responsiones*, 489-91; em Descartes, *Oeuvres*, vol. 7, pp. 441-2; ênfase nossa).

Assim, o principal argumento de Descartes contra a ação direta à distância é que a matéria é desprovida de alma e de conhecimento.

Eu compreendo de modo completo o que seja um corpo meramente pensando que ele é extenso, tem forma, é móvel etc., e negando dele tudo o que pertença à natureza da mente (Descartes, *Meditationes de prima philosophia, Primae responsiones*, 130-1; em Descartes, *Oeuvres*, vol. 7, p. 121).

Essa posição radical de Descartes, negando a possibilidade de qualidades secundárias na matéria e exigindo explicações físicas baseadas apenas em suas propriedades geométricas e mecânicas é o que impossibilita a

introdução de ações à distância em sua filosofia. Só podem existir, portanto, ações por contato. Antes de Descartes, apenas os atomistas haviam tentado adotar um ponto de vista semelhante a este, com respeito às interações físicas.

Descartes utilizou coerentemente o mesmo tipo de abordagem para todos os tipos de interações: gravidade, magnetismo e eletricidade. Em todos os casos, tentou reduzi-las a efeitos produzidos por contato. Descartes afirmou que seria até mesmo possível proporcionar explicações mecânicas de “efeitos completamente raros e maravilhosos: tais como a cura das feridas de um homem morto quando seu assassino se aproxima dele [...]” (Descartes, *Principles de la philosophie*, parte iv, § 187 – versão francesa; em Descartes, *Oeuvres*, vol. 9-2).

Muitas das idéias de Descartes foram aceitas por Robert Boyle, que influenciou fortemente o pensamento inicial de Newton.

REAÇÕES DOS CARTESIANOS CONTRA A TEORIA DE NEWTON

Newton, como vimos, não era um defensor da idéia de ação à distância. No entanto, como não propôs publicamente nenhuma explicação mecânica da interação gravitacional, isso foi interpretado como se ele aceitasse forças à distância – o que provocou uma reação negativa. Embora Descartes não estivesse vivo para criticar a teoria gravitacional de Newton, vários outros pensadores que podem ser considerados como seus seguidores insurgiram-se (como Huygens e Leibniz²³) contra o que lhes pareceu um grave defeito da teoria newtoniana. Tanto Huygens quanto Leibniz aceitaram alguns aspectos da teoria gravitacional, como a existência de forças entre o Sol e os planetas, e entre os próprios planetas, obedecendo à lei do inverso do quadrado da distância²⁴. Mas não aceitaram que pudessem existir forças agindo diretamente à distância, ou que fossem inexplicadas; nem que existissem forças entre todos os pares de partículas do universo²⁵.

Muito antes da publicação da obra de Newton, Huygens já havia criticado as idéias de Roberval, e indicado as condições que lhe pareciam ser necessárias para a compreensão da gravidade:

Para procurar uma causa inteligível do peso, é preciso ver como ele pode ser produzido, supondo na natureza apenas corpos feitos de

uma mesma matéria, nos quais não se considera nenhuma qualidade, nem inclinação a se aproximarem uns dos outros, mas apenas diferentes tamanhos, formas e movimentos (Huygens, *Mémoire sur la cause de la pesanteur*, 28/08/1669, em Huygens, *Oeuvres*, vol. 19, p. 631).

Após a publicação dos *Principia*, Huygens manteve contra a gravitação universal newtoniana o mesmo tipo de incredulidade que havia apresentado em relação à proposta de Roberval:

Não examinarei [o cálculo de Newton sobre a forma da Terra] aqui, porque não concordo com um Princípio que ele assume neste e em outros cálculos. Este é: que todas as pequenas partes que podemos imaginar em dois ou mais corpos diferentes atraem-se ou tendem a se aproximar mutuamente. Eu não poderia admitir isso, pois vi claramente que a causa de tal atração não pode ser explicada por qualquer princípio da Mecânica ou pelas regras do movimento (Huygens, *Discours sur la cause de la pesanteur*, p. 159).

Quanto à Causa do Refluxo que o Sr. Newton dá, não me contento de modo nenhum com ela, nem com todas suas outras Teorias que ele edifica sobre seu Princípio de atração, que me parece absurdo, assim como já o testemunhei na Adição ao Discurso sobre o Peso. E me espantei muitas vezes de como ele pode se dar ao trabalho de fazer tantas pesquisas e cálculos difíceis, que só possuem por fundamento aquele mesmo princípio (Huygens, carta a Leibniz de 18 de novembro de 1690, em Huygens, *Oeuvres complètes*, vol. 9, p. 538).

Leibniz negava que a matéria fosse pura extensão, diferindo portanto de Descartes, mas aceitava que os fenômenos deviam ser explicados mecanicamente:

Leibniz aceitava, contrariamente a Descartes, que os corpos eram constituídos por matéria e forma (no sentido aristotélico). Essa forma consistiria em forças primárias, ativas e passivas, inobserváveis, metafísicas, que se manifestavam através de resistências, e forças derivadas observáveis (Aiton, *Leibniz: a biography*, p. 194; ver um opúsculo escrito por Leibniz em 11/05/1702: Leibniz, *Oeuvres*, pp. 364-71).

Se o corpo é uma substância, e não um simples fenômeno como o arco-íris, ou um ser unido por acidente ou agregação, como uma pilha

de pedras, ele não pode consistir em ser extenso, e devemos necessariamente conceber algo que podemos chamar de sua forma substancial e que corresponde de alguma forma à sua alma. Após ter mantido por muito tempo o contrário, fui finalmente convencido disso, quase apesar de mim mesmo. No entanto, por mais que eu apóie os Escolásticos nesse ponto geral e, por assim dizer, nessa explicação metafísica de princípios corpóreos, eu também concordo tão bem quanto qualquer outra pessoa com a teoria corpuscular na explicação de fenômenos particulares, pois introduzir formas ou qualidades aqui é não explicar nada. Devemos sempre explicar a natureza matematicamente e mecanicamente, desde que tenhamos em mente que os próprios princípios, ou as leis da mecânica ou da força, não dependem apenas da mera extensão matemática, mas de certas razões metafísicas (Leibniz, carta a Arnauld, 14 de julho de 1686; em Leibniz, *Oeuvres*, p. 225; *Philosophical papers and letters*, p. 338).²⁶

Havia uma discrepância entre as ontologias de Leibniz e Descartes. Ao invés de uma matéria totalmente inerte e passiva, Leibniz defendeu a visão de que “toda a Natureza é cheia de vida” (ver McMullin, *Newton on matter and activity*, p. 30). Mas essa diferença não tinha grande influência sob o aspecto das explicações exigidas na ciência:

[...] sou tão corpuscular quanto é possível na explicação de fenômenos particulares, pois alegar formas ou qualidades aqui é não explicar nada (Leibniz, carta a Arnaud, 14 de julho de 1686; em Leibniz, *Oeuvres*, p. 225; *Philosophical papers and letters*, p. 338).

Leibniz, em 1688, depois de ter ouvido falar indiretamente sobre a obra de Newton, publicou um trabalho (*Tentamen de motuum coelestium causis*) onde procurou explicar os movimentos celestes através de um éter. Todos os corpos têm a tendência de se mover em linha reta. Por que os planetas se desviam do seu movimento retilíneo, e ficam em movimento curvo em torno do Sol?

[...] Não nos parece estar de acordo com a Física e, mais ainda, parece indigno das admiráveis invenções de Deus, atribuir aos astros Inteligências particulares para dirigir seus movimentos, como se faltassem a Deus os meios de realizar as mesmas coisas pelas leis dos corpos; e como de fato os orbes sólidos foram recentemente excluídos,

*e além disso as simpatias e magnetismos e outras qualidades abstrusas desse gênero ou não são compreensíveis ou, quando podem ser compreendidas, julga-se que devem aparecer como efeito de impressões corporais; julgo por mim que não resta nenhuma outra coisa como causa dos movimentos celestes do que admitir que eles provêm de movimentos do éter, ou, para falar como astrônomo, dos orbes deferentes, mas orbes fluidos (Leibniz, *Tentamen de motuum coelestium causis*, em Leibniz, *Mathematische Schriften*, vol. 6, pp. 148-9; nossa ênfase).*

Segundo Leibniz, os planetas não são atraídos pelo Sol, mas empurrados para ele por um vórtice de éter. Ele admitia, nessa época, o uso da palavra “atração”, desde que se entendesse que não se tratava de uma ação direta à distância. De modo diferente do que fez Newton, Leibniz provou que esse empurrão é inversamente proporcional ao quadrado da distância (ver Koyré, *Études newtoniennes*, pp. 172-4). Posteriormente, Leibniz tentou explicar de outra maneira os movimentos dos planetas. Supôs que a Terra emitiria para todos os lados certo tipo de “radiação corporal”. Esses raios materiais seriam análogos aos raios de luz, afastando-se simetricamente em todas as direções. Eles empurrariam o éter para longe do centro, e os corpos terrestres, mais porosos do que o éter, sofreriam um empurrão menor, e por isso o efeito resultante seria que o éter os empurraria na direção da Terra. Esse efeito deveria ir se tornando mais fraco com a distância, exatamente como a intensidade luminosa diminui com a distância da fonte: inversamente proporcional ao quadrado da distância (Leibniz, *Tentamen de motuum coelestium causis*, segunda versão; em Leibniz, *Mathematische Schriften*, vol. 6, p. 163-6).²⁷

Muito antes do trabalho de Newton, era minha opinião que a gravidade é inversamente proporcional ao quadrado da distância, uma teoria à qual cheguei não apenas por processos *a posteriori*, mas também por uma razão *a priori*, que me surpreendo que ele não tenha notado. Deixando fora de consideração a base física da gravidade, e permanecendo dentro de conceitos matemáticos, considero a gravidade como uma atração causada por certos raios ou linhas atrativas que saem de um centro de atração; e assim, como a densidade de iluminação nos raios de luz, a densidade de radiação na atração gravitacional será inversamente proporcional ao quadrado da distância ao ponto radiante (Leibniz, carta a Jean Bernoulli, 18 de novembro de 1698; em

Leibniz, *Mathematische Schriften*, vol. 3, pp. 553; *Philosophical papers and letters*, p. 513).

Inicialmente, não havia inimizade entre Leibniz e Newton, e houve um início de correspondência direta entre eles, em 1693, bastante cordial (Aiton, *Leibniz: a biography*, p. 172)²⁸.

As desavenças entre Newton e Leibniz começaram a se tornar claras a partir de 1710 ou 1711, com provocações de ambos os lados, envolvendo por um lado a questão da prioridade na invenção do cálculo diferencial e integral, e por outro lado suas diferenças filosóficas (Aiton, *Leibniz: a biography*, pp. 337-40; Westfall, *Never at rest*, p. 730 e seguintes). Em 1711, por ocasião de uma correspondência mantida com Nicholas Harsoeker, Leibniz atacou diretamente as idéias de Newton, que interpretou como uma defesa da ação direta à distância, comparando-as às de Roberval (ver Koyré, *Études newtoniennes*, pp. 181-2).

O famoso *Scholium generale*, no qual Newton apresentou o *hypotheses non fingo*, não existia na primeira edição dos *Principia*; foi adicionado na segunda edição da obra (em 1713), já em meio à discussão com Leibniz e com o fim de responder a algumas de suas críticas (Westfall, *Never at rest*, p. 744).

Leibniz não podia aceitar que a gravitação fosse uma propriedade essencial da matéria e, em reação ao prefácio de Cotes para a segunda edição dos *Principia*, assim exprimiu sua diferença de posição em relação aos newtonianos:

Concordamos e afirmamos como eles – e sustentamos mesmo antes que eles publicassem sua opinião – que os grandes globos de nosso sistema, que possuem uma certa grandeza, se atraem uns aos outros. Mas como mantemos que isso só pode ocorrer de um modo que tem uma explicação, ou seja, pelo impacto de corpos mais sutis, não podemos admitir que a atração seja uma propriedade primária essencial à matéria, como esses cavalheiros alegam. É esta opinião que é falsa, baseada em um juízo apressado, e incapaz de ser provada pelos fenômenos (Leibniz, carta a Louis Bourguet, 5 de agosto de 1715, em Leibniz, *Philosophical papers and letters*, p. 663).

Em sua controvérsia com Samuel Clarke²⁹, Leibniz utilizou argumentos contra a gravitação muito semelhantes aos argumentos de Descartes contra Roberval, afirmando que:

- um corpo só pode ser movido por outro corpo através do contato
- a gravitação exige a existência de algum corpo intermediário
- a idéia de uma gravitação através de um vácuo é ininteligível
- uma ação direta à distância seria algo sobrenatural

[...] mantenho que a atração dos corpos, propriamente dita, é uma coisa miraculosa, que não poderia ser explicada por sua natureza (Leibniz, terceiro escrito da controvérsia com Clarke, § 17; Leibniz, *Oeuvres*, p. 418).

É sobrenatural também que os corpos se atraiam de longe sem nenhum meio; e que um corpo gire, sem se afastar pela tangente, embora nada os impeça de se afastar. Pois esses efeitos não são explicáveis pela natureza das coisas (Leibniz, quarto escrito da controvérsia com Clarke, § 45; Leibniz, *Oeuvres*, p. 426).

É uma estranha ficção fazer toda matéria dotada de peso, e até mesmo em direção a toda outra matéria; como se todo corpo atraísse igualmente todos os outros corpos segundo as massas e as distâncias; e isso por uma atração propriamente dita, que não seja proveniente de uma impulsão oculta dos corpos; [...] Um corpo só é movido naturalmente por um outro corpo que o empurra tocando-o; e após isso ele continua até que seja impedido por um outro corpo que o toque. Toda outra operação sobre os corpos é ou miraculosa ou imaginária (Leibniz, quinto escrito da controvérsia com Clarke, § 35; Leibniz, *Oeuvres*, p. 437).

Em uma carta escrita em 1715, Leibniz esclareceu um pouco melhor esse ponto:

Sua filosofia [de Newton] me pareceu um pouco estranha, e não creio que ela possa ser estabelecida. Se todo corpo é grave, é necessário (apesar do que dizem seus defensores e seja o que for que eles testemunhem) que a gravidade seja uma qualidade Escolástica oculta, ou o efeito de um milagre. Já mostrei ao Sr. Bayle que tudo o que não é explicável pela natureza das criaturas é milagroso. Não basta dizer que Deus fez uma tal lei da natureza, portanto a coisa é natural. É preciso que a lei seja executável pela natureza das criaturas. Se Deus ordenasse, por exemplo, a um corpo livre, girar em torno de um certo

centro, seria necessário ou que ele lhe adicionasse outros corpos que, por seu impulso, o obrigassem a permanecer sempre em sua órbita circular, ou que ele colocasse um Anjo às suas costas, ou enfim que ele próprio atuasse extraordinariamente. Pois o móvel se afastaria pela tangente (Leibniz, carta a Conti, 25 de novembro de 1715, em *The correspondence of Isaac Newton*, vol. VI, p. 251).

[...] as *atrações* propriamente ditas, e outras operações inexplicáveis pela natureza das criaturas, devem ser efetuadas por milagre, ou deve-se recorrer a absurdos, quer dizer, às *qualidades ocultas* escolásticas, que se começa a nos impingir sob o nome especioso de *forças*, mas que nos levam ao reino das trevas. [...] No tempo do Sr. Boyle e outros excelentes homens que floresceram na Inglaterra sob Charles II, não se teria ousado nos impingir noções tão ocas. Espero que esse belo tempo retornará [...]. A base do Sr. Boyle era de inculcar que tudo se fazia mecanicamente, na física. Mas é uma desgraça que as pessoas se desgostem enfim da própria razão, e se aborreçam com a luz. As quimeras começam a voltar e agradam, pois elas possuem algo de maravilhoso. (Leibniz, quinto escrito da controvérsia com Clarke, §§ 113-114; Leibniz, *Oeuvres*, p. 454).

Em sua resposta ao escrito anterior de Leibniz, Clarke havia reconhecido que uma ação direta à distância seria inconcebível:

Realmente, que um corpo possa atrair um outro *sans aucun moyen*³⁰ não seria um milagre, mas uma contradição. Pois seria supor que alguma coisa age onde não está. Mas o *moyen* pelo qual dois corpos se atraem mutuamente pode ser invisível e intangível e de uma natureza diferente do mecanismo, no entanto, agindo regularmente e constantemente, pode muito bem ser chamada de natural [...] (Clarke, quarta resposta a Leibniz, § 45; Leibniz, *Philosophical papers and letters*, p. 696).

Leibniz tomou a resposta de Clarke e a ridicularizou:

Eu havia objetado que uma *atração* propriamente dita, ao modo escolástico, seria uma operação à distância, *sem intermediário*. Responde-se aqui que *uma atração sem intermediário* seria uma contradição. Muito bem; mas como ela é entendida, então, quando se quer que o Sol, através de um espaço vazio, atraia o globo da Terra? Seria Deus

que serviria de *intermediário*? Mas isso seria um milagre, se jamais existiu um; isso ultrapassaria a força das criaturas.

Ou são talvez algumas substâncias imateriais, ou alguns raios espirituais, ou qualquer acidente sem substância, alguma espécie, como se fosse intencional, ou qualquer outro não sei o quê, que seria esse pretenso intermediário? Parece que ainda existe na cabeça uma boa provisão dessas coisas, sem que elas sejam explicadas.

Esse meio de comunicação é, dizem-nos, invisível, intangível, não-mecânico. Poderíamos adicionar com o mesmo direito: inexplicável, não-inteligível, precário, sem fundamento, sem exemplo (Leibniz, quinto escrito da controvérsia com Clarke, §§ 118-120; Leibniz, *Oeuvres*, p. 418).

Na sua quinta réplica a Leibniz, Clarke alegou que ele (e Newton) utilizavam o termo “atração” apenas para descrever um fenômeno, qualquer que fosse sua causa, que não era conhecida (Clarke, quinta resposta a Leibniz, § 110-113; Leibniz, *Oeuvres*, p. 469).

O fenômeno de atração e suas leis ou as proporções dessa força são bastante conhecidas pela experiência; tanto melhor se o Sr. Leibniz pode explicá-los pelo mecanismo (Clarke, quinta resposta a Leibniz, § 124; Leibniz, *Oeuvres*, p. 471).

Mas será satisfatória essa posição? Será simplesmente “melhor” dispor de uma explicação para a ação à distância? Não será *absurdo* aceitar a ação à distância se ela não for explicável? Podemos considerar defensável a posição de Newton e de Clarke como uma estratégia temporária – poder-se-ia falar em forças à distância apenas enquanto não se dispusesse de uma explicação mecânica, e sem supor que elas são ações *diretas* à distância.

DIFICULDADES DOS PRINCÍPIOS DE DESCARTES

A posição cartesiana era, basicamente, a de que não se pode compreender como um corpo atua à distância, sem intermediários. Mas seria a ação por contato claramente compreensível e simples?

O próprio Leibniz, apesar de sua adoção geral da posição de Descartes, criticou a suposição de que a ação por contato é um fenômeno simples, que não precisa ser analisado. Descartes imaginava as partículas da maté-

ria como possuindo uma forma definida, que não se alteraria nas colisões. Quando duas partículas colidissem, elas instantaneamente mudariam seu movimento, sem sofrer nenhuma outra mudança. Leibniz indicou que quando dois corpos colidem, eles inicialmente se deformam, e depois, ao voltar às suas formas primitivas, se empurram mutuamente. Essa força depende, portanto, da existência de uma flexibilidade e elasticidade nos corpos que colidem. Sem forças elásticas, não se poderia compreender a reflexão dos corpos. Ora, essas forças elásticas não podem ser explicadas como o resultado de forças internas de contato. Portanto, é necessário introduzir certas *forças internas* na essência da matéria.

Se Descartes tivesse tomado em consideração que todo corpo que colide com um outro deve, antes de ser repellido, primeiro reduzir seu avanço, então parar, e apenas então se mover para trás, e deve assim passar de uma direção à oposta, não por um salto mas gradualmente, ele teria estabelecido outras regras de movimento. Devemos reconhecer que, por mais duro que seja, todo corpo é apesar disso flexível e elástico até certo grau; como uma bola inflada com ar, que cede um pouco quando cai ao chão ou é atingida com uma pedra, até que o ímpeto ou avanço daquilo que a atinge se quebra gradualmente e por fim pára, após o que a bola retoma sua forma e repele a pedra, que agora não resiste mais, ou até que ela volta por si própria do chão ao qual caiu. Experimentos nos ensinaram de forma convincente que algo semelhante a isso ocorre em toda colisão, mesmo se não for visível a deformação e restauração (Leibniz, Notas críticas aos *Principia* de Descartes (aprox. 1692), parte II, § 4-44, em Leibniz, *Philosophical papers and letters*, p. 397).³¹

Ora, se pensarmos bem, veremos que há certos argumentos – muito antigos – que mostram como o próprio conceito de contato é complexo. Será o contato a coexistência e interpenetração em uma certa região? Se o contato não é uma ação à distância, então deve haver uma pequena parte dos corpos que se tocam que é comum aos dois corpos; mas isso é inaceitável:

Coisas que se tocam uma à outra tocam-se ou com suas partes ou como todos tocando todos. Ora, certamente eles não se tocam como todos, pois então eles estariam unidos ao invés de estar em contato um com o outro. Mas também não se tocam como partes tocando partes:

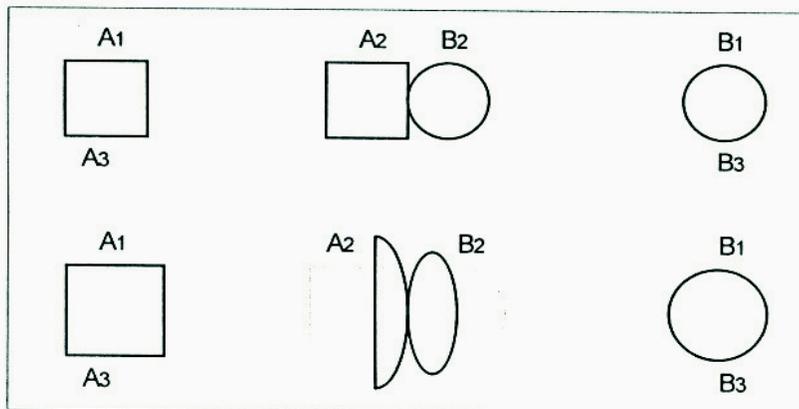


Figura 4. Esquemas de Leibniz, para representar colisões de partículas. Acima, a suposição de colisões instantâneas entre partículas totalmente duras. Abaixo, a representação de Leibniz da colisão entre duas partículas, levando em conta sua elasticidade.

pois suas partes, embora sejam partes em relação ao todo, são todos em relação às suas partes. Assim esses todos, que são as partes de outras coisas, não se tocarão como todos tocando todos, pelas razões ditas antes, nem também por suas partes, que são todos em relação às suas próprias partes. Mas se não apreendemos o ocorrência do contato nem por meio da totalidade nem por meio das partes, o contato será inapreensível (Sextus Empiricus, *Outlines of pyrrhonism*, III, §45-46; *Les esquisses pyrrhoniennes*, chap. vii, 42-44+45-46).

Esse argumento de Sextus exclui a possibilidade de que o contato seja um tipo de coexistência das partes em contato. Então, poderíamos supor que dois corpos em contato estão espacialmente separados, sem nenhum ponto em comum? Ora, se os corpos que se tocam tivessem todas as suas partes separadas, sem nenhuma parte em comum, a interação entre eles seria um tipo de ação à distância, pois cada corpo “reagiria” àquilo que existe em lugares diferentes daquele em que está.

Intuitivamente, poderíamos pensar que a influência de um corpo sobre outro encostado a ele (ou seja, a uma distância nula) é diferente do caso em que os dois corpos estão a uma distância não-nula. Mas mesmo quando a distância entre os pontos da superfície dos dois corpos é nula, eles estão em lugares diferentes; e sendo assim, como esse

pontos podem se “comunicar”? Existe algum tipo especial de interação por contigüidade?

Em meados do século XVIII, Roger Boscovich adotou uma posição totalmente anticartesiana. Ele tomou como ponto de partida de sua física a existência de partículas elementares de matéria indivisíveis e pontuais, dotadas de massa e de forças à distância (Boscovich, *A theory of natural philosophy*, p. 20). Essas forças eram atrativas a grandes distâncias, e repulsivas a distâncias muito pequenas. Entre esses extremos, a força oscilatória, sendo nula a certas distâncias, e atrativa ou repulsiva a distâncias intermediárias (Boscovich, *A theory of natural philosophy*, pp. 21-2). Sendo pontuais, essas partículas nunca se tocam. O aparente contato de dois corpos seria apenas uma ilusão. Boscovich dedicou grande parte de sua argumentação a mostrar que as teorias de impulso por contato entre partículas rígidas exigiriam uma descontinuidade do movimento, que parecia inaceitável (Boscovich, *A theory of natural philosophy*, pp. 27-40). Rejeitando o contato, Boscovich defendeu forças à distância propriamente ditas, e não explicáveis por qualquer mecanismo oculto (Boscovich, *A theory of natural philosophy*, p. 57).

Kant, mais de um século após Descartes, percebeu que a idéia de forças de contato era problemática, e adotou uma visão exatamente inversa: que era *necessário* assumir a existência de forças à distância³². A argumentação de Kant pode ser esquematizada da seguinte forma:

- todas as teorias mecânicas (incluindo a de Descartes) precisam admitir que a matéria é impenetrável
- a impenetrabilidade tem que ser devida a alguma *força* que se opõe à penetração
 - se não houvesse essa força, quando dois corpos se movessem um em direção ao outro, não poderia haver mudança de movimento, e um corpo penetraria no outro
 - portanto, a matéria preenche o espaço por causa de uma força motriz
 - essa força deve ser repulsiva (para impedir que haja penetração) e expansiva
 - essa força não pode ser infinita (uma força infinita é impensável) e portanto pode haver uma penetração parcial (por compressão)
 - a existência de uma força é a causa primária que torna possível a matéria

A impenetrabilidade absoluta é apenas um *qualitas occulta*. Pois se perguntarmos a razão pela qual os corpos em seu movimento não podem se penetrar mutuamente, obteremos esta resposta: porque são impenetráveis. Se usarmos a força repulsiva, essa solução não pode ser criticada da mesma forma. É verdade que a possibilidade dessa força não pode ser explicada e que ela deve ser considerada como uma força fundamental. No entanto, ela proporciona a idéia de uma causa ativa (Kant, *Premiers principes metaphysiques de la science de la nature*, p. 60).

Além de forças repulsivas para explicar a impenetrabilidade da matéria, era preciso, de acordo com Kant, atribuir também certas forças *atrativas* à matéria, para explicar sua coerência – o motivo pelo qual as partes das partículas de matéria se mantêm unidas. Os dois tipos de forças devem atuar entre as partes de qualquer partícula, e exercem sua ação em pontos onde essas partes não estão, sendo, portanto, forças à distância. Kant considera, por isso, que forças à distância são *primitivas* à matéria, ou seja: não se pode conceber a matéria sem essas forças, e elas não podem ser explicadas de um modo mais fundamental. Já que a existência de forças à distância precisa ser admitida, nada impede, então, que se aceite que a gravitação seja uma ação imediata de uma parte de matéria sobre outra, através do espaço.

É impossível exigir que a possibilidade de forças fundamentais seja tornada compreensível; elas são chamadas fundamentais porque não podem ser derivadas de qualquer outra, ou seja, não podem ser compreendidas.

A objeção mais comum contra uma ação imediata à distância é que a matéria não pode agir imediatamente *onde ela não está* [...]. No entanto, em vez de ser contraditório, podemos dizer que sempre que algo age no espaço sobre outra coisa, esse algo atua em um lugar onde o fator ativo não está. Se agisse onde está, a coisa sobre a qual ele age não poderia ser *externa* a ele (Kant, *Premiers principes metaphysiques de la science de la nature*, p. 77-9).

Desde a época de Newton até o início do século XX, a idéia de forças diretas à distância foi aceita por muitos físicos, mas um número bastante grande de autores se esforçou por encontrar explicações mecânicas da gravitação³³. Pode-se afirmar que a motivação básica de todos esses auto-

res era a mesma: tentar tornar compreensível a atração gravitacional, recusando aceitar ações diretas à distância. No entanto, todas essas tentativas fracassaram, por levarem a consequências que conflitavam com os fatos experimentais.

No final do início do século XIX e início do século XX, diversos autores reproduziram as críticas de Leibniz e Kant, e assumiram que as suposições de Descartes eram inaceitáveis. Admitindo, com Kant, que a posição oposta (que admite ações diretas à distância) necessita de uma hipótese que não pode ser compreendida, concluíam pela negação da possibilidade (ou da relevância) de uma busca por processos fundamentais racionais. Essa foi a posição adotada, por exemplo, por Ernst Mach:

Um fato fundamental não é mais inteligível do que outro: a escolha do fato fundamental é uma questão de conveniência, história e hábito.

No presente, a gravitação não perturba mais ninguém: ela se tornou um incompreensível comum (Mach, *Historical roots of the principle of energy conservation*, pp. 57, 56).

De forma semelhante, Émile Meyerson afirmou que as teorias mecânicas são “fundamentalmente irracionais” (Meyerson, *Identité et réalité*, p. 337).

Vimos que não existe nenhum modo de tornar inteligível o choque de dois corpos; e, quanto à ação à distância, ela não passa de um ser misterioso (Meyerson, *Identité et réalité*, p. 151).

Seria essa a única posição possível? Será realmente inevitável aceitar a existência de ações à distância?

Notemos que a posição de Meyerson e de Mach é muito mais forte do que a de Duhem, por exemplo.

Atualmente, é lugar comum dizer que não se pode construir uma ciência da natureza a partir da razão, que é preciso utilizar como base a experiência – ao contrário do que Descartes tentava fazer. Mas notemos que há dois sentidos diferentes nessa posição. Por um lado, podemos dizer que a razão não é *suficiente* para se determinar a fundamentação da ciência – os princípios básicos não podem ser encontrados *a priori*. Uma coisa completamente diferente é dizer que os princípios básicos podem ser irra-

cionais e absurdos. Vamos esclarecer esse ponto retornando à filosofia clássica e fazendo uma comparação com os paradoxos de Zenão.

Através de seus paradoxos, Zenão procurava defender a concepção de Parmênides de que apenas o ser único e imutável podia ser pensado; e que o movimento não podia ser pensado, sendo contrário à razão³⁴. Em certo sentido, isso é coerente com a visão de Platão da existência de dois mundos: o mundo das idéias, imutável, que pode ser conhecido pela razão; e o mundo dos fenômenos, mutável, que pode ser captado pelos sentidos mas que não é objeto da razão, e sim da opinião. A filosofia de Platão difere muito da de Parmênides, mas, nesse aspecto, há uma grande concordância, e talvez por isso Platão não tenha questionado os argumentos de Zenão.

A posição de Aristóteles era completamente oposta: ele defendia a possibilidade de um conhecimento racional da natureza. Provavelmente por isso os paradoxos de Zenão o incomodaram, e ele procurou mostrar que se tratava de contradições apenas aparentes, ou seja, que não havia argumentos racionais contra a existência do movimento.

Estabelecer que as propriedades das interações físicas não podem ser obtidas *a priori* e que é necessário consultar a experiência para construir a física não traz nenhuma novidade epistemológica – Aristóteles já sabia disso. No entanto, se fosse possível estabelecer que as interações físicas são *impensáveis*, seria dado um passo muito importante na defesa do eleatismo e da teoria do conhecimento de Platão. Zenão riria e aplaudiria, lá da estrela onde os deuses o colocaram.

O QUE DESCARTES PODERIA RESPONDER A KANT?

Se Descartes tivesse tido a oportunidade de ler os argumentos de Kant, será que ele se daria por vencido e aceitaria forças à distância? É difícil imaginar que ele se rendesse tão facilmente. Que tipos de argumentos poderiam ser utilizados para defender as idéias de Descartes e combater as de Kant?

Em primeiro lugar, é necessário notar que o argumento de Kant *presupõe* a dinâmica de Newton. Se aceitarmos a lei da inércia do modo como ela foi formulada por Newton, não se pode contornar o argumento de Kant: é necessário aceitar que a mudança de movimento é devida a forças (no sentido newtoniano) e que, portanto, a impenetrabilidade só pode existir se há forças que mudam o movimento dos corpos. No entanto, na mecâni-

ca de Descartes, as forças são apenas uma descrição macroscópica e sensorial do efeito de colisões microscópicas. Ao invés de explicar o que ocorre nas colisões através de forças, as forças são explicadas como sendo devidas ao efeito de colisões. Ou seja: há uma diferença fundamental naquilo que se toma como *primitivo*, nos dois enfoques. Na abordagem de Descartes, poderíamos simplesmente alegar que não é válido aplicar uma descrição macroscópica e sensorial para explicar processos microscópicos fundamentais.

Outro ponto que poderia ser argumentado contra Kant é que, para se construir uma teoria *racional* da natureza, os processos fundamentais devem ser inteligíveis, e as forças de Kant não podem ser compreendidas, como o próprio Kant admitiu. A introdução de processos fundamentais ininteligíveis é inadmissível, dentro da filosofia cartesiana. Os processos fundamentais deveriam ser simples e claros – é necessário que suas propriedades possam ser deduzidas *a priori*. No caso das forças repulsivas e de coesão de Kant, como se poderia determinar *a priori* qual seria o valor dessas forças, como elas variariam com a distância, qual seria a deformação dos corpos nas colisões etc.?

Consultando os textos do próprio Descartes, podemos notar que ele não utilizava a noção de forças para explicar o que ocorria nas colisões. Ao contrário da lei de inércia de Newton, que atribui a mudança do movimento a forças, Descartes atribui a mudança do movimento ao encontro com outra coisa, e à impenetrabilidade:

A segunda lei que noto na natureza, é que cada parte da matéria, em seu particular, não tende jamais a continuar a se mover segundo linhas curvas, mas seguindo linhas retas, embora muitas dessas partes sejam obrigadas a se desviar, pois encontram outras em seu caminho, e quando um corpo se move, faz-se sempre um círculo ou anel de toda matéria que se move junto (Descartes, *Principes de la philosophie*, parte 2, § 39).

[...] cada coisa que está em movimento continua sempre como ela está [...] até que ela seja obrigada a mudar pelo encontro de alguma outra (Descartes, *Principes de la philosophie*, parte 2, § 41).

A partir do que foi demonstrado acima, a saber, que todos os lugares são cheios de corpos e que cada parte da matéria é de tal forma

proporcionada ao tamanho do lugar que ela ocupa, que não é possível que ela preencha um maior, nem que ela se encerre em um menor, nem que qualquer outro corpo encontre lugar aí enquanto ela lá está, devemos concluir que é necessário que haja sempre um círculo de matéria ou anel de corpos que se movem juntos ao mesmo tempo; de modo que, quando um corpo deixa seu lugar por causa de algum outro que o empurra, ele entre no de um outro, e esse outro no de um outro, e assim por diante até o último, que ocupa no mesmo instante o lugar deixado pelo primeiro (Descartes, *Principes de la philosophie*, parte 2, § 33).

Quando duas partículas colidem, elas devem mudar seu movimento, porque de outra forma elas se penetrariam mutuamente, e a interpenetração de substâncias extensas não pode ser compreendida.

Será que esse argumento *explica* por que as partículas alteram seu movimento? Sim e não. O argumento prova por *reductio ad absurdum* que os corpos devem mudar seu movimento. Se isso é uma explicação ou não, depende de nossa interpretação. Podemos dizer que o argumento de Descartes explica a mudança de movimento das partículas que colidem no mesmo sentido que os *Elementos* de Euclides “explicam” as propriedades geométricas das figuras: provando que são conseqüências necessárias de certas suposições básicas.

É claro que o argumento de Descartes não proporciona uma explicação *mecânica* para a mudança de movimento das partículas que colidem (e nem poderia fazê-lo), pois as colisões são o fundamento da mecânica cartesiana, e tentar deduzir os fundamentos da mecânica a partir da própria mecânica seria um círculo vicioso. Dentro do ponto de vista de Descartes, portanto, parece aceitável introduzir colisões sem qualquer referência a forças repulsivas, e portanto o argumento de Kant não é suficientemente forte – ele só é conclusivo para quem aceita a dinâmica de Newton como algo fundamental.

Quanto à impenetrabilidade em si mesma, Descartes praticamente não se deu ao trabalho de discuti-la. No entanto, no final de sua vida, ao ser pressionado por Henry More a *demonstrar* que a impenetrabilidade era uma propriedade necessária da substância extensa³⁵, Descartes apresentou uma prova bastante curta:

Não se pode compreender também que uma parte de uma coisa extensa penetre em outra igual a ela, sem ao mesmo tempo entender

que a metade das suas extensões é retirada ou aniquilada; ora, uma coisa reduzida ao nada não pode penetrar em outra; assim, em minha opinião, pode-se demonstrar que a impenetrabilidade pertence à essência da extensão, e não à essência de alguma outra coisa (Carta de Descartes a More, 15 de abril de 1649: em Descartes, *Oeuvres*, vol. 5, p. 341; *Correspondance*, vol. 8, p. 206)

A interpretação dessa passagem é difícil, mas talvez possa ser compreendida da forma a seguir. Consideremos uma parte de um corpo, que tenha um volume de um centímetro cúbico. Se essa parte do corpo puder penetrar em outra parte igual de outro corpo, essa outra parte também teria um centímetro cúbico de volume. Antes que ocorra a penetração, as duas partes ocupam, juntas, um volume de dois centímetros cúbicos. Ora, quando ocorresse a penetração, essas duas partes estariam ambas contidas em um volume total de um centímetro cúbico. Portanto, metade da extensão inicial teria desaparecido. Não teria ocorrido propriamente uma penetração, mas uma aniquilação de metade da extensão inicial – e, portanto, de metade da matéria, já que a matéria era identificada com a extensão, por Descartes. Poderíamos dizer que a impenetrabilidade era equivalente à afirmação de que a matéria se conserva, no contexto da filosofia cartesiana³⁶.

COMENTÁRIOS FINAIS

Se perguntarmos a um físico atual como o Sol consegue atrair a Terra, a uma enorme distância, ele provavelmente responderá: “Por causa do campo gravitacional” – e essa poderá lhe parecer uma resposta não-problemática e final – embora seja uma resposta puramente nominal. Mas se perguntarmos como o Sol consegue criar um campo em um local onde ele não está, talvez ele fique confuso. Sem ter total consciência disso, os físicos atuais utilizam certas imagens desenvolvidas no século passado para campos elétricos e magnéticos, que representam *alguma coisa* que sai das cargas elétricas e dos ímãs e se espalha pelo espaço em volta, produzindo as atrações e repulsões. E aplicam a mesma imagem vaga ao campo gravitacional, imaginando que alguma coisa se espalha pelo espaço em torno de cada massa, produzindo as atrações gravitacionais. Ou seja: há uma vaga noção (não-explicita) de que existem intermediários nas ações gravitacionais e eletromagnéticas, e que portanto não se trata de ação à

distância. Na teoria quântica de campos, esses intermediários são identificados como fótons virtuais, ou grávitons (supostamente). Mas como os fótons virtuais e grávitons interagem com as cargas elétricas e com as massas? Afinal, como se dão as interações do tipo mais elementar possível? Por contato? No caso da teoria quântica de campos, os modelos espaciais são totalmente abandonados e não se pode mais *imaginar* o que acontece. O problema desaparece, porque nem pode ser mais formulado.

A teoria quântica é um produto do século XX. Acredito que ninguém dirá que, no século XVII, a existência de forças elétricas e gravitacionais deveria levar os pesquisadores a descobrir a teoria quântica dos campos. Pode-se, então, colocar o problema: dentro de uma visão clássica (não-quântica) da natureza, na qual cada partícula tem uma localização bem definida em cada instante, é possível encontrar-se algum tipo de modelo fundamental (irreduzível) de interação que seja compreensível?

Um ponto me parece claro e distinto: não se pode conceber que duas partículas separadas por uma certa distância possam atuar *diretamente* uma sobre a outra – a menos que atribuamos poderes paranormais a essas partículas³⁷. E foi Descartes quem mostrou isso da forma mais clara possível, há dois séculos e meio.

Mas será a ação por contato uma alternativa válida? Se imaginarmos a ação por contato como um equivalente microscópico daquilo que vemos nas colisões macroscópicas do dia-a-dia, então devemos dizer que a ação por contato não é uma alternativa válida de interação fundamental (irreduzível), pois ela exige a existência de forças elásticas – como Leibniz mostrou. Mas se concebermos a ação por contato como totalmente distinta da que ocorre em colisões macroscópicas e como devida à mera impenetrabilidade das partículas, ela é aceitável como interação fundamental, pois não depende de outros tipos de interação.

A impenetrabilidade só pode ser atribuída a entes dotados de extensão (não se pode falar sobre a impenetrabilidade de um *ponto*). A existência de entes extensos (não-pontuais) traz outro problema, que é o de explicar a coesão das partes desses entes. Essa coesão não pode ser explicada, evidentemente, como consequência da impenetrabilidade. Ela exigiria a existência de pelo menos um outro tipo de interação fundamental – um tipo de ação de contigüidade, difícil de conceber. Isso mostra que a redução de toda a física (clássica) a colisões não é válida. Apesar desse problema, podemos creditar a favor de Descartes dois pontos importantes: a im-

possibilidade de ações diretas à distância, e a possibilidade de ações diretas por colisão, do tipo descrito acima.

Não se pode defender a idéia de que a teoria cartesiana de ação física era livre de dificuldades. Dois problemas principais podem ser apontados:

- sua explicação da coesão interna de cada partícula (devida, segundo ele, ao repouso relativo das partes³⁸) não era satisfatória;
- seus modelos mecânicos não eram explicações adequadas dos fenômenos conhecidos, e havia muitos problemas nas leis básicas (de colisão) em que ele se fundamentava.

No entanto, é possível distinguir a *posição geral* de Descartes desses pontos particulares. O ponto de vista geral de Descartes, de que as interações diretas à distância são incompreensíveis, parece nunca ter sido questionado por filósofos posteriores (Kant aceita isso, mas supõe que é necessário aceitar o incompreensível). Se aceitarmos esse primeiro ponto, devemos colocar uma pergunta que todo filósofo natural é obrigado a considerar: Será possível um conhecimento racional da natureza? A resposta de Descartes é um retumbante “sim”. O que devemos responder?

Se a resposta for “não”, teremos como conseqüência uma negação da possibilidade da própria filosofia natural, pois não será possível uma compreensão da natureza. Estaremos retornando ao ponto de vista de Platão a respeito da impossibilidade de um *conhecimento* sobre o mundo sensível. Nesse caso, as alternativas são o relativismo, o instrumentalismo (como em Mach) e outras posições bastante populares hoje em dia.

Se a resposta for “sim”, deveremos aceitar que argumentos *a priori* podem estabelecer limites aos conceitos aceitáveis na ciência, e torna-se relevante a busca por processos fundamentais compreensíveis. Parece-me que essa é uma posição filosoficamente (e esteticamente) mais defensável.

Os cartesianos acreditavam que a filosofia jamais poderia renunciar ao ideal de inteligibilidade perfeita reivindicado tão fortemente por Descartes, e que a ciência não poderia jamais aceitar como fundamentos fatos não compreensíveis. No entanto, a ciência newtoniana vitoriosa fez precisamente isso com suas forças não compreensíveis de atração e repulsão. E com que sucesso! Ora, os vencedores não apenas fazem a história, mas a escrevem também, e eles são raramente indulgentes para com aqueles que venceram (Koyré, *Études newtoniennes*, pp. 91-2).

A moda atual rejeita a visão de Descartes. É claro que não existe uma *prova* de que a natureza é irracional, mas essa é a saída mais fácil: elimina o esforço de buscar uma *compreensão* da natureza. Talvez Newton tenha, no final de sua vida, se refugiado nessa posição por comodismo: não tendo conseguido atingir uma explicação mecânica da gravitação, preferiu considerar como desnecessária essa busca. Isso nos lembra a fábula do lobo que não conseguiu alcançar as uvas, e se afastou resmungando que elas estavam verdes, para se consolar.

Lembremo-nos, no entanto, que o próprio Newton criticou as pessoas que rejeitaram a busca de uma explicação mecânica da gravidade:

[...] é para mim um absurdo tão grande que acredito que nenhuma pessoa que tenha uma faculdade competente de pensar sobre assuntos filosóficos possa jamais cair nele (carta de Newton a Bentley, 25/02/1693; Newton, *Correspondence*, vol. 3, p. 253-4).

NOTAS

¹ A visão popular predominante é a de que “Descartes é o símbolo de uma tentativa ultrapassada, reacionária – e falaciosa – de submeter a ciência à metafísica, negligenciando a experiência, a precisão e a medida, substituindo-as por hipóteses fantásticas, indemonstradas e indemonstráveis sobre a estrutura e o comportamento da matéria” (Koyré, *Études newtoniennes*, p. 88).

² Em um trabalho anterior, adotei o mesmo tipo de abordagem ao discutir a questão do vácuo: Martins, 1993a.

³ Manuscrito Add. 3996, da *Cambridge University Library*, denominado *Questiones quaedam Philosophicae*. Ver McGuire & Tamny, *Certain philosophical questions: Newton's Trinity notebook*.

⁴ Não confundir gravidade com gravitação. A palavra “gravidade” era usada para indicar a propriedade que os corpos pesados (graves) possuem de tender para o centro da Terra (ou do universo, na cosmologia aristotélica). “Gravitação”, por outro lado, é o termo que seria utilizado por Newton para indicar uma força atrativa existente entre dois corpos quaisquer do universo. No período ao qual estamos nos referindo, não se percebe ainda essa segunda idéia em Newton.

⁵ Newton imaginava que o éter poderia subir mais lentamente do que em sua descida, mas nesse caso ele deveria estar mais denso, e mesmo com uma velocidade menor poderia produzir um empurrão para cima igual ao empurrão para baixo. Na época em que escreveu essas especulações, no entanto, Newton não procurou fazer nenhuma análise quantitativa do modelo.

⁶ Essa hipótese pode ter sido imaginada por Newton ao ler uma descrição de Boyle a respeito da ascensão de vapores da terra para a atmosfera (Boyle, *New experiments physico-mechanical*, p. 28).

⁷ Sobre a correspondência entre Newton e Boyle, ver Westfall, *Never at rest*, pp. 371-3.

⁸ Nicolas Fatio de Duillier (1664-1753), atualmente pouco conhecido, foi um importante matemático da época de Newton. A respeito de sua explicação da gravitação, ver Gagnebin, 1949.

⁹ Modelos semelhantes a esse foram sugeridos muitas vezes nos séculos posteriores, sendo a proposta mais conhecida devida a Le Sage (ver Taylor, 1876).

¹⁰ Há um manuscrito de Newton que parece ter sido escrito com o objetivo de ser adicionado aos *Principia*, em que Newton realmente afirmava isso. Ver Hall & Hall, *Unpublished scientific papers*, pp. 313, 315.

¹¹ Em latim: *Rationem vero harum gravitatis proprietatum ex phænomenis nondum potui deducere, & hypotheses non fingo*. “Fingo” vem do verbo *fingere*, que é fingir, simular, inventar. É um termo usado claramente de modo pejorativo, para descrever algo imaginário, irreal, falso. Em inglês, o próprio Newton utilizou várias vezes o verbo *to feign*, que tem exatamente o mesmo significado. Em português, seria inadequado traduzir *hypotheses non fingo* por “não finjo hipóteses”, mas talvez fosse conveniente enfatizar o aspecto pejorativo por uma construção do tipo: “não fico inventando hipóteses”. Nas muitas versões manuscritas desse parágrafo, ao invés dessa expressão apareciam outras, como “não sigo hipóteses”, ou “fujo de hipóteses” (ver Cohen, *Introduction to Newton's 'Principia'*, pp. 241-4).

¹² Em uma carta escrita na época em que estava preparando a segunda edição da obra, Newton esclareceu que “a palavra hipótese é usada aqui por mim apenas para indicar uma proposição que não é um fenômeno nem deduzido de qualquer fenômeno, mas é assumida ou suposta sem qualquer prova experimental” (Newton, carta a Cotes, 28 de março de 1713, em: Newton, *Correspondence*, vol. 5, p. 397).

¹³ Nas citações apresentadas neste artigo, os trechos ou termos que estavam enfatizados no original serão também destacados (com aspas simples), e quando o destaque for dado pelo presente autor isso estará indicado após a referência que acompanha esta citação.

¹⁴ Sobre a cosmogonia de Descartes, ver Araújo. 1990.

¹⁵ Koyré apresentou uma excelente comparação geral entre Descartes e Newton, em: Koyré, *Études newtoniennes*, pp. 85-242; versão inglesa, *Newtonian studies*, pp. 53-200.

¹⁶ Roberval já havia sugerido idéias semelhantes desde 1636. Ver Koyré, *Études newtoniennes*, pp. 135-6.

¹⁷ *Aristarchi Samii De mundi systemate, partibus et motibus ejusdem, libellus. Adjectæ sunt Æ. P. de Roberval Math. scient. in Coll. Reg. Franciæ Profess. notæ in eundem libellum*. Parisiis: Guillelmum Baudry, 1644.

¹⁸ Carta de Descartes a Mersenne, Egmond, 20 abril 1646 – carta 532, *Correspondence*, vol. 7, p. 45-54; *Oeuvres*, vol. 4, p. 396.

¹⁹ Ver também Descartes, *Principes de la philosophie*, parte 4, § 187.

²⁰ Os atomistas não tentavam explicar a gravidade, no entanto.

- ²¹ Gilbert utilizava o termo *coition*, que remete a uma analogia sexual.
- ²² Posteriormente, Boyle fez experimentos utilizando uma bomba de vácuo e observou que a atração magnética pode atuar mesmo em um espaço praticamente vazio (Boyle, *New experimental physico-mechanical*, pp. 22, 25).
- ²³ Nem Huygens nem Leibniz seguiam cegamente as idéias de Descartes, mas foram fortemente influenciados e aceitaram o princípio básico de que os fenômenos naturais deveriam ser explicados mecanicamente, sem apelar para qualidades secundárias – e, evidentemente, sem apelar para forças à distância.
- ²⁴ Na base da crítica de Huygens a Newton havia um conflito metodológico: ver Martins 1993b.
- ²⁵ Não se deve imaginar que havia uma oposição sistemática de todos os autores continentais ou franceses a Newton. Por exemplo: Varignon, em 1690, adotava a teoria dos vórtices de Descartes, mas em 1700 adotou a posição de Newton e discutiu os movimentos dos planetas de forma matemática, partindo da hipótese da atração gravitacional, sem indicar nenhuma especulação a respeito da causa dessa atração (Aiton, *Leibniz: a biography*, p. 242).
- ²⁶ A mesma idéia aparece, por exemplo, no texto *Specimen dinamicum*, de 1695 (ver Leibniz, *Mathematische Schriften*, vol. 6, pp. 234-54; *Philosophical papers and letters*, pp. 435-50, especialmente pp. 435-7).
- ²⁷ Ver, também, a carta de Leibniz a Arnaud de 23 de março de 1690, onde se encontra o mesmo tipo de explicação (Leibniz, *Oeuvres*, pp. 279-281) e as cartas a Huygens, de 16/26 de setembro de 1692, onde repete idéias semelhantes (Leibniz, *Mathematische Schriften*, vol. 2, pp. 141-7).
- ²⁸ Carta de Leibniz para Newton, 7 de março de 1693; em Newton, *Correspondence*, vol. 3, pp. 257-8; carta de Newton para Leibniz, 16 de outubro de 1693; em Newton, *Correspondence*, vol. 3, pp. 286-7.
- ²⁹ A correspondência entre Leibniz e Clarke foi iniciada por uma carta de Leibniz à princesa inglesa Carolina, datada de 10 de maio de 1715 (ver Aiton, *Leibniz: a biography*, p. 341; Westfall, *Never at rest*, pp. 772, 778). As cartas de Leibniz foram escritas em francês, e as de Clarke em inglês. A troca de cartas durou até a morte de Leibniz, em novembro de 1716.
- ³⁰ Em francês, no original: “sem qualquer intermediário”.
- ³¹ Ver também o *Specimen dinamicum*, de 1695 (ver Leibniz, *Mathematische Schriften*, fol. 6, pp. 234-54; *Philosophical papers and letters*, pp. 435-50, especialmente pp. 446-8).
- ³² A posição de Boscovich, adotada independentemente de Kant, era semelhante, porém menos elaborada sob o ponto de vista filosófico.
- ³³ Duas boas revisões históricas da própria época são apresentadas no artigo Taylor, 1876, e no livro Isenkrahe, *Das Rätsel von der Schwerkraft*. Para uma análise historiográfica do problema, ver Hesse, 1955, e Hesse, *Forces and fields*. Uma das tentativas que produziu grande repercussão, pelo prestígio de seu autor (Lord Kelvin) foi uma nova versão da hipótese de Le Sage (Thomson 1873), criticada por Maxwell (1873). Uma das últimas propostas de uma teoria mecânica da gravitação foi apresentada por Brush, 1911.

³⁴ Ver os fragmentos de Parmênides e Zenão, e comentários a respeito em Kirk, Raven & Schofield, *The presocratic philosophers*, pp. 239-79. Há uma imensa literatura sobre o assunto, que não será indicada aqui.

³⁵ Carta de Henry More a Descartes, 5 de março de 1649; em Descartes, *Oeuvres*, vol. 5, p. 298; Descartes, *Correspondance*, vol. 8, p. 154. Este é o mesmo More que influenciou fortemente Newton sob o ponto de vista de sua concepção mecânica (Westfall, *Never at rest*, p. 97).

³⁶ Se essa interpretação for correta, há uma grande semelhança entre o argumento de Descartes sobre a impenetrabilidade e os argumentos *a priori* contra a possibilidade do vácuo. Ver Martins 1993a.

³⁷ É interessante notar que mesmo as pessoas que aceitam a existência de poderes humanos paranormais (telepatia, geomancia etc.) supõem que o conhecimento daquilo que está longe ou oculto se dá através de algum intermediário (por exemplo, “ondas cerebrais”) e não por uma ação direta à distância.

³⁸ Ver Descartes, *Principes de la philosophie*, parte 2, §§ 54-57. Este é um ponto que, infelizmente, não será possível discutir aqui.

BIBLIOGRAFIA

- Aiton, E. J. “Newton’s aether-stream hypothesis and the inverse square law of gravitation”. *Annals of Science* 25: 255-60, 1969.
- . *Leibniz: a biography*. Bristol: Adam Hilger, 1985.
- Aquinas, Thomas. *Summa theologica*. Trad. Daniel J. Sullivan. Em Hutchins, Robert Maynard (ed.). *The great books of the western world*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952, vols. 19-20.
- Araújo, Cícero Romão Rezende. “Ciência e interesse na cosmogonia de Descartes”. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] 2 (3 – número especial): 1-103, 1990.
- Aristóteles. *Physics*. Trad. R. P. Hardie & R. K. Gaye, em Ross, W. D. (ed.). *The works of Aristotle translated into English*. Oxford: Clarendon Press, 1971, vol. 2.
- Bacon, Francis. *The new organon and related writings*. Ed. Fulton H. Anderson. Nova York: Macmillan, 1960.
- Birch, T. (ed.). *The works of the honourable Robert Boyle*. 6 vols. London: J. & F. Rivington, 1772.
- Boscovich, Roger Joseph. *A theory of natural philosophy*. Trad. J. M. Child. Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology, 1966.

- Boyle, Robert. "New experiments physico-mechanical, touching the spring of the air, and its effects; made, for the most part, in a new pneumatical engine". In Birch, *The works of the honourable Robert Boyle*, vol. I.
- Brush, Charles F. "A kinetic theory of gravitation". *Science* 33: 381-6, 1911.
- Cohen, I. Bernard. *Isaac Newton's papers and letters on natural philosophy*. Cambridge: Cambridge University Press, 1958.
- . *Introduction to Newton's 'Principia'*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1978.
- Cornford, Francis MacDonald. *Plato's cosmology. The Timaeus of Plato translated with a running commentary*. London: Routledge & Kegan Paul, 1952.
- Descartes, René. *Correspondance*. Ed. Charles Adam & Gérard Milhaud. 8 vols. Paris: Félix Alcan / Presses Universitaires de France, 1936-1963. Reedição: Nendeln: Kraus Reprint, 1979.
- . *Oeuvres de Descartes*. Ed. Charles Adam & Paul Tannery. 11 vols. Paris: J. Vrin, 1969-1974.
- Gagnebin, Bernard. "De la cause de la gravitation. Mémoire de Nicolas Fatio de Duillier", apresentado à Royal Society em 26 de fevereiro de 1690, reconstituído e publicado com uma introdução. *Notes and Records of the Royal Society of London* 6: 105-60, 1949.
- Gilbert, William. *On the loadstone and magnetic bodies and on the great magnet the Earth*. Trad. P. Fleury Mottelay. Em Hutchins, Robert Maynard (ed.). *The great books of the western world*. Chicago: Encyclopaedia Britannica, 1952, vol. 28.
- Grant, Edward. *A source book in medieval science*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1974.
- Hall, A. Rupert & HALL, Marie Boas. *Unpublished scientific papers of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1962.
- Hesse, Mary B. "Action at a distance in classical physics". *Isis* 46: 337-53, 1955.
- . *Forces and fields. The concept of action at a distance in the history of physics*. Westport: Greenwood Press, 1970.
- Huygens, Christiaan. *Oeuvres complètes*. 22 vols. La Haye: Martinus Nijhoff, 1888-1950.
- . *Discours de la cause de la pesanteur*. Leide: Pierre van der Aa, 1690. Reproduzido em *Oeuvres*, vol. 21, pp. 427-88.
- Isenkrahe, Caspar. *Das Rätsel von der Schwerkraft. Kritik der bisherigen Lösungen des Gravitationsproblems und Versuch einer neuen auf rein mechanischer Grundlage*. Braunschweig: Friedrich Vieweg und Sohn, 1879.

- Kant, Immanuel. *Premiers principes métaphysiques de la science de la nature*. Trad. J. Gibelin. 2. ed. Paris: J. Vrin, 1971.
- Kirk, G. S., Raven, J. E. & Schofield, M. *The presocratic philosophers: a critical history with a selection of texts*. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- Koyré, Alexandre. *Études newtoniennes*. Paris: Gallimard, 1968.
- . *Newtonian studies*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1965. *
- Leibniz, Gottfried Wilhelm. *Oeuvres*. Ed. Lucy Prenant. Paris: Aubier Montaigne, 1972.
- . *Philosophical papers and letters*. Ed. Leroy E. Loemker. 2. ed. Dordrecht: D. Reidel, 1976.
- . *Mathematische Schriften*. 7 vols. Ed. C. I. Gerhardt. Halle: 1849-63; reimpresso: Hildesheim: Olms, 1971.
- Lucretius. *De la nature*. Trad. Alfred Ernout. 2 vols. Paris: Belles Lettres, 1972-1975.
- Mach, Ernst. *History and root of the principle of the conservation of energy*. Trad. Philip E. B. Jourdain. Chicago: Open Court, 1911.
- McGuire, J. E. & Tamny, Martin. *Certain philosophical questions: Newton's Trinity notebook*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- McMullin, Ernan. *Newton on matter and activity*. Notre Dame: University of Notre Dame, 1978.
- Martins, Roberto de Andrade. "Huygens e a gravitação newtoniana". *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [2] 1 (2): 151-84, 1989.
- . "Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor e contra o vácuo". *Trans/Form/Ação* 16: 7-27, 1993 (a).
- . "Huygens' reaction to Newton's gravitational theory", pp. 203-13, in Field, J. V. & James, Frank A. J. L. (eds.). *Renaissance and revolution: Humanists, scholars, craftsmen and natural philosophers in early modern Europe*. Cambridge, Cambridge University Press, 1993 (b).
- Maxwell, James Clerk. "On action at a distance". *Notes of the Proceedings at the Meetings of the Members of the Royal Institution of Great Britain* 7: 44-54, 1873/74 [1873].
- Meyerson, Émile. *Identité et réalité*. 5. ed. Paris: J. Vrin, 1951.

* Essas duas obras não são equivalentes: há capítulos diferentes.

- Newton, Isaac. *Mathematical principles of natural philosophy*. Trad. A. Motte, ed. Florian Cajori. Berkeley: University of California, 1962.
- . *Philosophiæ naturalis principia mathematica*. 3ª edição (1726) com variação de redação. Edição crítica por Alexandre Koyré, I. B. Cohen e Anne Whitman. 2 vols. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1972.
- . *The correspondence of Isaac Newton*. Ed. H. W. Turnbull. 7 vols. Cambridge: Cambridge University Press, 1959-1977.
- . *Opticks or, a treatise of the reflections, refractions, inflexions and colours of light*. London, 1704. Reedição: Nova York: Dover, 1952.
- Platão. *Timaeus*. Trad. Benjamin Jowett. Em *The collected dialogues of Plato*. Ed. Edith Hamilton & Huntington Cairns. Princeton: Princeton University Press, 1985.
- Rosenfeld, Léon. "Newton's view on aether and gravitation". *Archive for History of Exact Sciences* 6: 29-37, 1969.
- Sextus Empiricus. "Les esquisses ou hypotyposes pyrrhoniennes". In *Oeuvres choisies de Sextus Empiricus*. Trad. Jean Grenier, Geneviève Goron. Paris: Éditions Mouton, 1948.
- . *Outlines of Pyrrhonism*. Trans. R. G. Bury. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990.
- Taylor, William. "Kinetic theories of gravitation". *Report of the Board of Regents of the Smithsonian Institution*, 205-82, 1876.
- Thayer, H. S. (ed.). *Newton's philosophy of nature. Selection from his writings*. Nova York: Hafner, 1953.
- Thomson, William (Lord Kelvin). "On the ultramundane corpuscles of Le Sage". *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh* 7: 577-89, 1872; *London, Edinburgh and Dublin Philosophical Magazine* [4] 45: 321-32, 1873.
- Westfall, Richard S. *Never at rest. A biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.
- Woodward, James F. *The search for a mechanism: action at a distance in gravitational theory*. Denver: University of Denver, 1972.