

A TEORIA DA GRAVITAÇÃO: VICISSITUDES DOS "PRINCIPIA MATHEMATICA"

MARCIO QUINTÃO MORENO

Departamento de Física, Universidade Federal de Minas Gerais

A publicação dos "*Principia Mathematica*" em 1687 marca o nascimento da física clássica. Síntese e culminação de um processo quase secular, em que sobressaíam as contribuições de Kepler, de Descartes e de Galileu - os "gigantes" em cujos ombros ele subira, na expressão do próprio Newton - sua obra acrescerá esse legado intelectual com conceitos novos que marcariam os rumos da física nos dois séculos seguintes.

Como foram recebidas as inovações de Newton pela Europa intelectual de fins do século dezessete? Como se incorporou à ciência a física newtoniana?

Geralmente essas perguntas não merecem maior atenção no ensino de física, quase sempre circunscrito aos conceitos e teorias e sua aplicação a problemas específicos. De certo que não podemos nem devemos transformar um curso de física em curso de história da física, mas a abordagem exclusivamente técnica dessa ciência - sobretudo quando destinada a estudantes para os quais será um instrumento subsidiário - apresenta um inconveniente: o de transmitir uma falsa idéia da natureza da atividade científica. Esta passa a ser vista como algo alheio às circunstâncias sociais, filosóficas, religiosas, etc. em que a ciência é praticada. O cientista assume frequentemente a figura de uma espécie de semi-deus - algo infalível e onisciente, nunca assaltado por dúvidas e hesitações.

Parece-me útil que, ao abordar algumas das teorias fundamentais da física, em cursos elementares, alguma atenção seja dada a tais circunstâncias. A extensão e o pormenor com que elas sejam tratadas, bem como a ocasião de apresentá-las, obviamente cabe a cada professor escolher. Mas tenho a convicção de que são boas oportunidades para dar aos alunos uma visão mais ampla e mais correta da ciência e dos cientistas.

A teoria da gravitação é um dos casos mais adequados para explorar esses aspectos. Na maioria das vezes esse assunto é apresentado de tal forma que induz a concluir que a idéia de atração gravitacional era óbvia e que sua incorporação à física aguardava ape-

nas que Newton observasse a queda de uma maçã em seu pomar e que a teoria da gravitação foi recebida com unânime e pronto assentimento.

O terceiro centenário de publicação dos *Princípios* oferece um pretexto para lembrar alguns aspectos da gênese da obra, da primeira vez em que ela foi apresentada e das vicissitudes que a mesma viu até incorporar-se ao patrimônio científico.

A IDÉIA DE ATRAÇÃO

A explicação do movimento dos corpos celestes era provavelmente o problema científico mais importante do século XVII. Antigo como era, continuava entretanto insolúvel, não obstante às contribuições fundamentais de Copérnico, Kepler, Galileu e Descartes, para mencionar apenas os mais importantes que se ocuparam dele.

Uma idéia difusa de atração entre os corpos celestes era bastante antiga. Atribui-se a João Escoto Erígena, teólogo escocês do final do século IX, tradutor de obras gregas e neo-platônicas, a conjectura de que o peso e a "leveza" de um corpo varia com sua distância à Terra⁽¹⁾.

Copérnico também entrevira vagamente o conceito de gravitação: ao explicar a forma esférica dos corpos celestes, afirmava que ela resultava de uma "apetência" natural de toda matéria para agregar-se em esferas.

Kepler, no começo do século XVII, explicava o movimento dos planetas recorrendo a uma "influência" exercida sobre eles pelo Sol, a qual decresceria com a distância. Esse "poder" irradiado pelo Sol, proposto inicialmente por Kepler em uma obra de juventude (o *"Mysterium Cosmographicum"*, de 1596), era então designado como *"anima motrix"*, alma motriz; em 1621, ao preparar a segunda edição desse livro, ele substituiu "alma" por "vis", força, afirmando ser este o princípio básico da física celeste. Pouco depois, ele conclui que a ação do Sol sobre os planetas é de natureza magnética, explicação que revela a influência da famosa obra sobre magnetismo publicada em 1600 por William Gilbert.

Em 1645 o francês Ismael Boulliau, em uma obra intitulada *Astronomia philolaica*, lança a hipótese de existir entre os corpos celestes uma atração proporcional ao inverso do quadrado da distância, exercida tangencialmente à trajetória dos planetas⁽²⁾.

Na Inglaterra, vários pesquisadores se ocupavam dos movimentos celestes, notadamente Christofer Wren, Robert Hooke e Edmund Halley, todos membros da *Royal Society* de Londres. Conhecendo os resultados das investigações de Huygens sobre o movimento circular,

bem como as leis empíricas de Kepler para o movimento planetário, eles haviam conseguido, individualmente, deduzir a lei do quadrado inverso. Nenhum deles, entretanto, conseguira resolver o problema inverso: suposta a variação com o quadrado inverso, demonstrar que as trajetórias planetárias seriam elipses com o Sol localizado em um dos focos.

Edmundo Halley, em carta a Newton, informa-lhe que, em janeiro de 1683, tivera um encontro com Hooke e Wren, aos quais participou para os resultados de suas próprias pesquisas sobre o assunto:

"a partir da consideração da proporção sesqui-áltera de Kepler" (isto é, a proporção à potência $3/2$), "conclui que a força centrípeta decrescia na proporção dos quadrados recíprocos das distâncias" ⁽³⁾.

Dissera Hooke então que *"sobre esse princípio todas as leis dos movimentos celestes podiam ser demonstradas"* e ele próprio havia feito isso ⁽⁴⁾.

GÊNESE E PUBLICAÇÃO DOS "PRINCIPIA"

Em agosto de 1684, Halley visitou Newton em Cambridge e, sem mencionar seus próprios trabalhos, nem os de Hooke ou Wren, indagou a Newton qual seria a trajetória dos planetas se eles se movessem sob a ação de uma força centrípeta proporcional ao inverso do quadrado da distância. Newton, sem hesitar, respondeu-lhe que seria uma elipse. Essa resposta suscitou nova pergunta de Halley: como o sabia? A segunda resposta, tão surpreendente para Halley como a primeira, foi que ele, Newton, já o havia demonstrado. Halley interessou-se em conhecer a demonstração, porém Newton não conseguiu encontrar suas anotações.

Em novembro do mesmo ano Halley voltou a visitar Newton, quando tentou persuadi-lo a comunicar à *Royal Society* os resultados de seus estudos sobre os movimentos celestes, quando mais não fosse para garantir-se a prioridade de suas descobertas. Newton não se entusiasmou inicialmente com a idéia de publicar suas pesquisas, mantendo ainda vivo ressentimento pela polêmica travada alguns anos antes (em 1672) com Hooke, a propósito de sua teoria das cores. Halley, entretanto, soube ser persuasivo e a visita terminou com a promessa de Newton de redigir uma comunicação à *Royal Society* sobre o movimento. Ele a cumpriu de fato e em fevereiro de 1685 a entidade recebia um manuscrito de Newton intitulado *Propositiones de Motu*.

Tratava-se, na verdade, do esboço do que mais tarde viria a

ser o Livro I dos *Principia*. O texto definitivo da primeira parte da grande obra de Newton - o primeiro tratado de mecânica racional - iria demandar cerca de dezoito meses de trabalho, sendo afinal apresentado à *Royal Society* em abril de 1686. Submetido ao Conselho da Sociedade, esta, tendo em vista o relatório favorável de Halley, deliberou, em junho do mesmo ano, que

"... os *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* do Sr. Newton sejam publicados imediatamente".

Mas a Sociedade atravessava uma fase de dificuldades financeiras graves ⁽⁵⁾ e não poderia arcar com as despesas de edição da obra. O Conselho teve de rever sua decisão anterior, resolvendo que

"o livro do Sr. Newton seja impresso e que o Sr. Halley se encarregue disso, fazendo a impressão à sua custa".

Halley de fato arcou com o ônus de publicação da obra de Newton, embora não fosse rico.

O Livro II, que trata do movimento em meios resistivos, foi concluído em outubro de 1686 e o Livro III, relativo ao "sistema do mundo", em março do ano seguinte.

Não estavam vencidas, entretanto, as dificuldades que se opunham ao aparecimento dos *Principia*. Novamente Hooke iniciou outra controvérsia com Newton, reclamando prioridade de descoberta de proposições básicas da obra, que Newton teria conhecido através da correspondência entre eles. A nova polêmica iniciou-se logo depois de apresentado o manuscrito do Livro I e provocou forte irritação em Newton. Em carta a Halley, depois de mencionar que era a terceira vez que Hooke criava-lhe aborrecimentos do gênero, Newton chegou a ameaçar ⁽⁶⁾:

"Tenho a intenção de suprimir o terceiro Livro. A filosofia é uma dama tão insolentemente litigiosa que é melhor enredar-se em processos do que ter negócios com ela".

Halley mais uma vez empenhou-se em apaziguar Newton, temendo de que ele persistisse no seu propósito, ponderando-lhe em carta:

"Estou desolado... que o mínimo desgosto vos incite a renunciar a vossas pretensões a uma dama cujos favores tendes tantos títulos para merecer... Espero que revereis vossa decisão de suprimir o terceiro livro".

Lembrou a Newton o temperamento "filosoficamente ambicioso"

de Hooke, reiterando seu apelo:

"Devo pedir-vos, novamente, que não vos deixeis levar por vossos ressentimentos a ponto de nos privar de todo o vosso terceiro livro."

O talento diplomático de Halley mais uma vez teve êxito e ele conseguiu de Newton a conclusão da parte final de sua obra. Mais ainda, obteve dele que figurasse uma referência, ainda que sumária, ao próprio Hooke (e também a Wren e a Halley), constante do Livro I (Seção II, no Escolio seguinte à Proposição IV).

Completo-se finalmente a obra e em julho de 1687 ele obtinha o *imprimatur* do Presidente da *Royal Society*, na época Samuel Pepys.

Em julho de 1687 estavam publicados os *Princípios*.

NATURALISMO E MECANICISMO

Para entender a recepção que tiveram os *Princípios*, é preciso ter presente o conflito entre a filosofia naturalista, que dominara o pensamento científico durante o renascimento e persistira às primeiras décadas do século XVII, e a filosofia mecanicista desenvolvida por Mersenne, Gassendi, Hobbes e que culminara com Descartes.

A corrente naturalista explicava os processos naturais recorrendo a "princípios ativos", supostos presentes em todas as coisas: a matéria era dotada de vida e percepção. A semelhança dos corpos magnéticos, todos os corpos se relacionavam uns com os outros devido a "simpatias" e "antipatias", graças às quais os semelhantes tendem aos semelhantes e rejeitam os dessemelhantes. O livro sobre magnetismo de William Gilbert, já mencionado, espelha bem esse ponto de vista mágico, ao tentar explicar os fenômenos magnéticos recorrendo a "virtudes ocultas" que impregnam o universo renascentista. Em oposição à filosofia aristotélica e escolástica, assentada na suposição de existir uma ordem natural subjacente que o espírito humano pode apreender, a corrente naturalista sustentava que a natureza era inacessível à razão e somente a experiência permitiria descobrir as forças ocultas que governam o universo físico. Os princípios vitais que constituem o âmago da natureza física só poderiam ser conhecidos pela intuição imediata da verdade, a única que permite chegar às coisas como elas são e como operam: na expressão de van Helmont, uma das principais figuras dessa corrente de pensamento, o mundo material "é em tudo governado e dominado pelo Imaterial e Invisível".

Opondo-se a essa interpretação, o mecanicismo elaborado desde o princípio do século afirmava não existirem mistérios insondáveis na natureza e que os princípios que regem os processos naturais são acessíveis à razão. Na sua forma mais elaborada, o mecanicismo cartesiano, afirmava a dicotomia espírito-matéria e concebia o mundo como uma máquina constituída de corpos inertes que se moviam por necessidade física, independentemente da existência de seres pensantes. Todos os processos naturais são explicáveis em termos de matéria e movimento exclusivamente. Eliminavam-se as forças ocultas, as simpatias e antipatias, tanto quanto as "formas substanciais" e as "qualidades" da filosofia aristotélico-escolástica.

A identificação da matéria com a extensão implicava, para os mecanicistas, na impossibilidade do vácuo, passando, o universo, a ser concebido como um "pleno" onde só eram possíveis os movimentos em trajetórias fechadas. O universo estava tomado por infinitos "vórtices" ou "turbilhões" das diminutas partículas do "pleno", eternamente em colisão umas com as outras. Os únicos processos físicos admissíveis eram os que se podiam reduzir a colisões entre esses corpúsculos. O movimento dos planetas era devido ao turbilhão centrado no Sol, que se estendia até a órbita de Saturno e que os arrastava eternamente.

Nem Descartes nem seus seguidores se empenharam em trabalhar os pormenores desse esquema e em tentar expressá-lo matematicamente, ou em ajustá-lo aos fatos conhecidos: por exemplo, as leis de Kepler sequer eram mencionadas por Descartes, talvez pela impossibilidade de deduzí-las de suas suposições básicas. De toda forma, os aspectos mais salientes dos movimentos celestes receberam uma explicação facilmente visualizável e acessível aos que não possuíam conhecimentos matemáticos. A luta entre as duas concepções fôra ganha pelo mecanicismo, cuja vitalidade iria estender-se até metade do século XVIII.

O IMPACTO DOS "PRINCIPIA"

Quando da publicação de seu livro, Newton já conquistara notoriedade como matemático e "filósofo natural". Desde 1669 substituíra Isaac Barrow, matemático eminente e por indicação dele, na "cátedra Lucasiana" de matemática da Universidade de Cambridge, notando-se que Barrow renunciara a tal posto em favor de Newton, no qual reconheceria a marca do gênio.

A carreira científica pública de Newton, de acordo com E.N. da Costa Andrade⁽⁷⁾, iniciara-se pouco depois, ao construir para a

Royal Society um segundo exemplar do telescópio refletor de sua invenção. Em janeiro de 1672 fora eleito membro da Sociedade, em cujas *Philosophical Transactions* seriam publicadas, logo em seguida, suas pesquisas sobre a dispersão da luz.

Muitas das idéias básicas dos *Principia* já haviam sido tornadas públicas pelo próprio Newton em suas aulas na Universidade de Cambridge, desde 1684. No entanto, sua atividade didática, sobre a qual há poucas informações, parece ter sido bastante reduzida. Segundo R. Dugas⁽⁸⁾, limitava-se a uma aula semanal ministrada no último trimestre do ano e, pelo testemunho do secretário a quem ditava as aulas, estas não durariam mais de meia hora. O conteúdo de suas lições eram exclusivamente os resultados de suas pesquisas e ele nunca repetia os assuntos tratados. Parece não ter sido um professor muito simpático e houve ocasiões em que faltaram alunos para seu curso. William Whiston, que iria substituí-lo na cátedra de Cambridge em 1703, assistiu a uma de suas aulas e confessou nada haver compreendido, tendo de fazer "imensos esforços" para aprender o assunto sozinho.

O livro de Newton causou impacto imediato. Desde logo ficou evidente tratar-se de uma obra de importância excepcional. Como diria anos mais tarde Jean Bernoulli, a propósito de um outro episódio relacionado com Newton⁽⁹⁾, *tanquam ex ungue leonem!* (pelas garras se conhece o leão). Mas o geral reconhecimento do imenso valor dos *Principia* não implicava em aceitar suas inovações.

Em primeiro lugar, tratava-se de um livro muito difícil. A física cartesiana, como já foi observado, com seus mecanismos fáceis de visualizar, contrapunha-se ao caráter abstrato da física newtoniana. Enquanto as teorias de Descartes eram acessíveis aos leitores sem conhecimentos matemáticos, os *Principia* exigiam familiaridade com ela desde as primeiras páginas. Salomon Bochner, em sua obra *The role of mathematics in the rise of science*, compara Newton com Arquimedes e expressa as dificuldades da obra de Newton nos seguintes termos:

"Por exemplo, é hoje em dia muito árduo e mesmo muito difícil compreender realmente todo o conteúdo físico-matemático dos *Principia* de Newton (1686), em todo o seu pormenor técnico, estudando esse trabalho básico exclusivamente na linguagem matemática de Arquimedes e Apolônio, em que Newton preferiu elaborá-lo. As dificuldades não são devidas apenas à nossa atual falta de familiaridade com este tipo de idioma matemático do passado grego; são dificuldades intrinsecas, inerentes ao trabalho desde o início"⁽¹⁰⁾.

Outro motivo a dificultar a aceitação do livro de Newton eram suas interpretações inovadoras da natureza, que se chocavam frontalmente com os pressupostos da vitoriosa filosofia mecanicista de Descartes. Conceitos como o de atração e de força, básicos nos *Princípios*, foram desde logo encarados pelos partidários de Descartes como a exumação "dos fantasmas das qualidades ocultas, que a filosofia mecanicista fora criada para exorcizar" (11).

A física cartesiana, na época, dominava soberanamente o pensamento científico, tanto na Europa continental como na Grã-Bretanha. Nesta, contavam-se entre os partidários de Descartes figuras importantes como o ilustre Robert Boyle, que reputava Descartes "o mais arguto filósofo moderno". Não escapava à regra sequer a Universidade de Cambridge, a "alma matter" de Newton, como testemunha o seguinte depoimento do já citado William Whiston, que foi para aquela Universidade em 1693 (seis anos, portanto, depois de publicados os *Princípios*):

"... os estudos consistiam de Matemática e de Filosofia Cartesiana, que era a única em voga entre nós naquela época." (12)

Sir David Brewster, físico escocês do século XIX e biógrafo de Newton, afirmou que na Universidade de Cambridge a filosofia newtoniana "penetrou pela primeira vez sob a proteção dos cartesianos", aludindo a um fato curioso que comprova o vigor da influência de Descartes, até bem avançado o século XVIII, nas universidades britânicas e particularmente em Cambridge.

À época da publicação dos *Princípios*, gozava de grande reputação, tanto na França como na Inglaterra, um certo tratado de física cartesiana escrito por Jacques Rohault. Fora publicado originalmente em Paris (1671), depois traduzido para o latim e editado em Genebra (1674) e em Londres (1682); por muitos anos foi tido como o melhor tratado de física existente. Em 1697 - ou seja, dez anos após o aparecimento dos *Princípios* - apareceu uma nova versão em latim do livro de Rohault, elaborada por Samuel Clarke, professor de Cambridge, "amigo e discípulo de Newton"; essa nova edição teve sucessivas reedições até 1735 (oito anos depois da morte de Newton!) e desfrutou de grande popularidade, inclusive em instituições americanas.

O fato a que se refere Sir David Brewster é que, a partir da terceira edição latina do tratado de Rohault (em 1710), Samuel Clarke acrescentou-lhe extensas notas e comentários sobre as idéias de Newton, chegando mesmo a transcrever trechos dos *Princípios*. Embora respeitando o texto cartesiano original, Samuel Clarke, com seus acréscimos, oferecia uma virtual refutação do cartesianismo, ainda

que se esmerasse por evitar qualquer tom polêmico. Mas demonstrava, por exemplo, que, de acordo com a física cartesiana, os planetas ar rastados pelo "turbilhão" do Sol se moveriam com rapidez proporcio-
nal à distância a que se encontrassem do Sol - contrariamente aos da
dos da observação e à dedução fundada nos princípios newtonianos. Foi
portanto sob forma de "contrabando" que a mecânica newtoniana se di-
fundiu nas universidades inglesas no princípio do século XVIII.

Os partidários de Newton eram poucos, embora alguns muito no
táveis: além de Halley e Wren, podem citar-se os matemáticos Brook
Taylor e Roger Cotes; os irmãos James e David Gregory, que foram dos
primeiros a ensinar a mecânica newtoniana, em universidades escoces-
sas (o primeiro na de Santo André, o segundo na de Edimburgo); John
Keil, que passou a ensinar as teorias de Newton na Universidade de
Oxford em 1694.

Por muitos anos coexistiram as duas correntes de pensamento
no ensino da física "sem controvérsia aberta entre as facções, uma
favorecendo Descartes, como era apresentado por Rohault; a outra fa-
vorecendo Newton, conforme expunham as notas de Clarke, as lições de
Whiston, publicadas em 1710 e 1716, e o ensino de Richard Laughton",
este último em Cambridge⁽¹³⁾.

A ACOLHIDA NA EUROPA CONTINENTAL

Se na Inglaterra eram poucos os adeptos de Newton, na Euro-
pa continental simplesmente não os havia e o livro foi recebido des-
favoravelmente.

Em 1788 apareceu uma resenha dos *Princípios* no *Jou nal des*
Sçavants, publicado em Paris havia uns vinte anos. O comentário so-
bre o "sistema do mundo" (isto é, a teoria planetária, terceira par-
te da obra) dizia o seguinte:

"A obra do Sr. Newton é uma Mecânica, a mais perfeita que se possa
imaginar, não sendo possível fazer demonstrações mais precisas nem
mais exatas dos que as que ele oferece nos dois primeiros livros
sobre a leveza, a elasticidade, a resistência dos corpos fluidos e
sobre as forças atrativas e repulsivas, que são o principal funda-
mento da Física. Mas é necessário confessar que essas demonstra-
ções só podem ser consideradas como mecânicas, pois o próprio au-
tor reconhece, no fim da quarta página e no começo da quinta, que
ele não considerou seus princípios como Físico, mas como Geômetra.

Ele confessa a mesma coisa no começo do terceiro livro, em que,
todavia, tenta explicar o sistema do mundo. Mas isto mediante hi-

pôteses que são na sua maioria arbitrárias e que, por consequência, só podem servir de fundamento a um tratado de pura mecânica." (14)

O autor do comentário acrescentava que Newton deveria elaborar "uma Física tão exata como sua Mecânica", o que conseguiria quando substituisse os movimentos que imaginara por outros "verdadeiros".

Entre os adversários da obra estava Huygens, que se recusava a aceitar a idéia de força atrativa, ainda que reconhecesse, quanto ao livro, que "não seria possível encontrar nada mais sábio nessas questões, nem quem testemunhe maior penetração do espírito". O estudo dos *Princípios* convencerá Huygens da validade das duas primeiras leis de Kepler, que até então ele não aceitava, mas repelia o conceito de gravitação, chegando mesmo a tentar formular uma teoria planetária modificando a idéia dos turbilhões cartesianos.

Publicamente, as reservas de Huygens à teoria newtoniana eram moderadas, mas em particular ele era mais franco, como em uma carta a Leibniz (final de 1690), onde declara:

"Quanto à causa do Refluxo [i.e., as marés] que apresenta o Sr. Newton, eu não me satisfaço de modo nenhum, nem com todas as outras teorias que ele constrói sobre seu princípio de atração, que me parece absurdo (...). Eu me surpreendo muitas vezes como ele pôde dar-se ao trabalho de fazer tantas pesquisas e cálculos difíceis cujo único fundamento é esse mesmo princípio." (15)

Igualmente cético era Leibniz, não obstante o alto conceito que manifestava quanto à capacidade matemática de Newton, de quem diria:

"Considerando os matemáticos desde o princípio do mundo, até à época de Sir Isaac Newton, o que ele fez foi de longe a melhor metade."

Quanto aos *Princípios*, a apreciação de Leibniz foi assim expressa em carta a Huygens:

"Depois de bem considerar o livro do Sr. Newton, que vi em Roma pela primeira vez, admirei, muito justamente, uma quantidade de belas coisas que ele apresenta. No entanto, eu não compreendo como ele concebe o peso ou atração. Parece que, segundo ele, trata-se de uma certa virtude incorporea ou inexplicável, enquanto vós a explicais muito plausivelmente pelas leis da mecânica. (...) Espanta-me também que o Sr. Newton não tenha sonhado em oferecer qualquer razão da lei da gravidade..." (16).

Também Leibniz tentou "deduzir" a lei do quadrado da distância utilizando os turbilhões cartesianos, explicando a Huygens em carta:

"Depois dessas felizes concordâncias, não vos surpreendereis talvez, senhor, se eu me inclino por reter os turbilhões, que possivelmente não sejam tão condenáveis como os considera o Sr. Newton."

A hostilidade dos cientistas continentais iria acentuar-se nos anos seguintes e o debate entre cartesianos e newtonianos iria transformar-se em polêmica até quase atingir o ponto de incandescência. Em 1713 saiu a segunda edição dos *Princípios*, com um prefácio de Roger Cotes (1682-1716), jovem seguidor de Newton, que apresentava uma refutação geral das idéias cartesianas. Roger Cotes recorria até mesmo a argumentos teológicos, mudando o teor do debate e proporcionando a Leibniz uma oportunidade inigualável de fazer um contra-ataque vigoroso às idéias de Newton. Seguiu-se a famosa e lastimável polêmica que, a partir de 1715, ele manteve com Samuel Clarke, que desempenhou o papel de porta-voz de Newton, o qual, além de abominar as controvérsias, a essa altura virtualmente abandonara a física.

Em 1730 a Academia das Ciências de Paris, bastião do cartesianismo, concedeu a Jean Bernoulli um prêmio por um ensaio intitulado *O sistema de Descartes e a maneira de deduzir dele as órbitas e os afélios dos planetas*, em que a mecânica newtoniana não desempenhava qualquer papel. Quatro anos depois, o mesmo Bernoulli recebia outro prêmio da mesma Academia, desta vez por um *Ensaio de Nova Física Celeste*, onde tenta conciliar as concepções de Newton com as de Descartes.

Ainda em 1743 - cinquenta e seis anos após a edição original dos *Princípios*! - Leonhard Euler propõe uma teoria do magnetismo fundada na doutrina dos turbilhões cartesianos...

AS RETICÊNCIAS DE NEWTON E A ACOLHIDA AOS PRINCÍPIA

No fundo, as críticas dos cartesianos não eram completamente descabidas. Quando estudante em Cambridge, Newton lera avidamente os livros herméticos, que exerceram influência em sua concepção de natureza. A leitura de Descartes e seus seguidores convertera-o posteriormente ao mecanicismo, sem entretanto suprimir tal influência, ou melhor, a concepção hermética da natureza correspondia a uma visão profundamente enraizada no espírito de Newton. É isto que se conclui de um estudo sobre a personalidade de Newton, elaborado por

Lord Keynes e apresentado quando das celebrações do 39º centenário de nascimento de Newton (1942). Com base no exame de manuscritos inéditos de Newton, Lord Keynes nos diz:

"Creio que Newton era diferente da imagem convencional que se faz dele. Mas não penso que tenha sido menor. Ele era mais extraordinário do que pensava o século XIX. Os gênios são muito particulares. Não me atribuam a intenção, hoje, de diminuir, ao descrevê-lo, o maior filho de Cambridge. Tentarei antes vê-lo como seus próprios amigos e seus contemporâneos o viam. E todos, sem exceção, o consideravam um homem muito grande.

No século XVIII e após, Newton veio a ser considerado como o primeiro e o maior dos sábios da época moderna, como um racionalista, que nos ensinou a pensar segundo os moldes da fria e estrita razão.

Eu não o vejo sob essa luz. Não penso que ninguém o veria assim, depois de haver examinado o conteúdo da caixa que ele levou consigo ao deixar Cambridge em 1696 e uma parte da qual chegou até nós. Newton não foi o primeiro da idade do racionalismo. Ele foi o último dos magos, o último dos babilônios, o último grande espírito que considerou o mundo visível e o mundo do pensamento com os mesmos olhos daqueles que começaram a edificar a ciência há cerca de 10.000 anos.

Em termos crus, de nossa linguagem moderna, Newton era um neurótico de um tipo muito particular, em grau extremo. Seus instintos profundos eram misteriosos, esotéricos; alimentava profunda repulsa pelo mundo, um medo doentio de revelar seus pensamentos, suas crenças, suas descobertas, em sua nudez, à vista e à crítica de terceiros." (17)

Nos *Princípios*, Newton cuidara de introduzir os conceitos novos como os de força e de atração de forma a não serem confundidos com as "qualidades ocultas" da filosofia hermética, que entretanto não eram expressamente condenados, permitindo aos adeptos de Descartes interpretá-los como retorno àquela filosofia.

Quando se amudaram as críticas ao livro, Newton procurou esclarecer seu pensamento em cartas a correspondentes seus, como Robert Boyle e Richard Bentley. A este último diz Newton em carta de 1692 (18):

"Às vezes vos referis à gravidade como essencial e inerente à matéria. Peço-vos não atribuir-me tal noção, pois a causa da gravidade é coisa que não pretendo saber."

Em outra carta ele é ainda mais claro, pois afirma:

"Que a gravidade seja inata, inerente e essencial à matéria, de força que um corpo possa atuar sobre outro à distância, através do vácuo, sem a mediação de qualquer outra coisa, pela qual e através da qual sua ação possa ser transmitida de um ao outro, é para mim um absurdo tão grande, que acredito que ninguém, que possua em questões filosóficas uma competente faculdade de pensar, jamais possa cair nele. A gravidade deve ser causada por um agente que atua constantemente de acordo com certas leis; mas se esse agente é material ou imaterial, eu deixo à consideração de meus leitores."

Foi apenas na segunda edição dos *Princípios*, publicada em 1713 (e na 2ª edição da *Óptica*, em 1717) que Newton esclareceu publicamente seu ponto de vista. No *Escolio* geral que ele acrescentou à 2ª edição (penúltimo parágrafo), assim se expressando:

"Mas até aqui eu não conseguí ainda deduzir dos fenômenos a causa da gravidade e não imagino nenhuma hipótese. Pois o que quer que não se deduza dos fenômenos deve ser chamado de hipótese; e as hipóteses, sejam metafísicas ou físicas, sejam de qualidades ocultas ou mecânicas, não devem ser aceitas em filosofia experimental".

A ACEITAÇÃO DA MECÂNICA NEWTONIANA

A "conversão" da Europa continental à mecânica de Newton ficou a dever muito a um matemático com preocupações metafísicas, Pierre de Maupertuis (1698-1759), e a um literato genial, Voltaire (1694-1778).

Maupertuis foi quem introduziu na França a teoria da gravitação, que ele adotou depois de uma viagem à Inglaterra em 1728. Em 1732 ele publicou em Paris um *Discurso sobre as diferentes figuras dos astros*, fundado nas teorias newtonianas. Anos mais tarde escreveria Maupertuis:

"Foi necessário mais de meio século para familiarizar as Academias do continente com a atração. Ela permanecia encerrada em sua ilha; ou, se atravessava o mar, não parecia mais do que a reprodução de um monstro que fora proscrito; aplaudia-se tanto haver banido da Filosofia as qualidades ocultas, tinha-se tanto medo que elas resuscitassem, que tudo que aparentemente se assemelhasse com elas intimidava.

(...)

Não era uma grande glória apresentar a seus compatriotas uma descoberta feita por outros havia mais de 50 anos; assim, posso dizer que fui o primeiro que ousei propor em França a atração, pelo menos como hipótese a examinar; e foi o que fiz no *Discurso sobre a figura dos astros*. Aí se pode ver a prudência com que apresentei esse princípio, a timidez com que ousava compará-lo com a impulsão, o meu temor em tratar as razões que haviam levado os ingleses a abandonar o cartesianismo. Tudo isso foi inútil e se esse *Discurso* recebeu algum reconhecimento em países estrangeiros, valeu-me em minha pátria apenas inimigos pessoais." (19)

Maupertuis argumenta que Newton, embora suponha que todas as partículas de matéria "pesem" umas sobre as outras, jamais considerou a atração como explicação, utilizando o termo apenas para designar um fato, não uma causa. Analisando os conceitos cartesianos, Maupertuis mostra que nada prova que eles esgotem a realidade física e por conseguinte nada justifica a condenação apriorística da atração pelos partidários de Descartes.

A importância da contribuição de Maupertuis para a aceitação da mecânica newtoniana pode ser apreciada no seguinte comentário de D'Alembert (no *Discurso preliminar da Enciclopédia*, em 1751):

"Maupertuis foi o primeiro que ousou entre nós declarar-se abertamente newtoniano. Ele acreditou que se podia ser bom cidadão sem adotar cegamente a física de sua pátria e para atacar essa física ele necessitou de uma coragem pela qual devemos ser-lhe gratos." (20)

No final de 1732 Maupertuis conquistou um aliado importante em sua pregação pró-newtonianismo: Voltaire, que durante seu exílio em Londres, de 1726 a 1728, se familiarizara com as idéias de Newton e se entusiasmara com elas. Retornando à França, Voltaire publicou em 1734 suas famosas *Cartas filosóficas*, que haveriam de grangear-lhe não apenas celebridade como inúmeros aborrecimentos com as autoridades governamentais. Três dessas cartas (XIV a XVI) são uma divulgação das teorias mecânicas e ópticas de Newton e uma refutação da física cartesiana, tendo sido examinadas previamente por Maupertuis, a pedido de Voltaire. Ainda hoje vale a pena ler essas cartas, que nos revelam um humanista que compreendeu as concepções de Newton e as transmite com inteligência num estilo brilhante. Veja-se, como exemplo, o seguinte trecho, que inicia a carta XV, onde Voltaire traça um paralelo espiritualoso entre as concepções básicas das escolas cartesiana e newtoniana (21):

"Um francês que chegue a Londres encontra as coisas bem alteradas em filosofia, como em tudo mais. Ele deixou o mundo pleno; encontra-o vazio. Em Paris vê-se o universo constituído de turbilhões de matéria sutil; em Londres não se vê nada disso. Entre nós é a pressão da Lua que provoca o fluxo do mar; entre os ingleses, é o mar que gravita para a Lua, de maneira que, quando se pensa que a Lua deveria dar-nos maré alta, esses senhores acreditam que se deve ter maré baixa [...]."

Passados alguns anos, Voltaire publica outra obra em defesa das doutrinas newtonianas: os *Elementos da Filosofia de Newton*, que apareceu em 1738. Esse livro, que teve grande popularidade, é uma "amável obra de divulgação, agradavelmente ilustrada", tendo sido dedicada à marquesa de Châtelet, que viria a ser, muitos anos depois, a autora da primeira tradução dos *Principia* para o francês. Essa tradução, que data de 1759, seria ainda prefaciada por Voltaire e para ela contribuiu também Maupertuis, embora indiretamente, pois, a fim de bem desincumbir-se da empreitada, a marquesa com ele tomara aulas de mecânica.

No prefácio escrito para essa tradução, Voltaire escreveu:

"Foi necessário, para estabelecer em França todas as sublimes verdades que devemos a Newton, deixar passar a geração dos que, tendo envelhecido nos erros de Descartes, imaginaram poder destruir, como coisas de somenos, o que os jovens haviam descoberto." (22)

Voltaire estava com esse comentário antecipando-se a Max Planck, segundo o qual uma nova teoria científica triunfa não porque consiga convencer seus adversários, mas porque estes morrem e cresce uma nova geração de cientistas familiarizados com as novas idéias.

Essa resistência às grandes inovações científicas e a lenta incorporação dessas à ciência "oficial" talvez seja a regra e não a exceção. Lembro, no âmbito da Física, um outro exemplo, mais recente: o da teoria eletromagnética, que também enfrentou a indiferença e mesmo a desconfiança da maioria dos físicos no século XIX. Segundo Einstein⁽²³⁾, quando ele era estudante universitário em Zurique, no final do século passado, a teoria eletromagnética não era assunto ensinado na maioria das universidades européias. Mesmo em 1884 - vinte anos depois de publicado o tratado de Maxwell - ninguém menos que Lorde Kelvin referia-se a ela nos seguintes termos:

"A assim chamada teoria eletromagnética da luz até agora não nos ajudou em nada... parece-me antes um passo atrás [...]. A única

coisa nela que julgo inteligível penso que não seja aceitável... a saber, que existe um deslocamento elétrico perpendicular à linha de propagação." (23)

Entre a primeira edição dos *Principia*, em 1687, e sua definitiva aceitação pelo mundo científico decorreram mais de meio século, não obstante Newton ser universalmente reconhecido como um portento intelectual.

Somente em meados do século XVIII iriam tornar-se realidade as palavras de Alexander Pope em homenagem a Newton (gravadas em seu túmulo):

"Nature and Nature's laws lay hid in night,
God said, Let Newton be! and all was light."

REFERÊNCIAS

- (1) S. Weinberg, *Gravitation and Cosmology - principles and applications of the general theory of relativity*; John Wiley & Sons, New York, 1972, p. 13.
- (2) René Dugas, *La Mécanique au XVII^{ème} siècle*; Editions du Griffon, Neuchâtel, 1954, p. 374.
- (3) Alan Ferguson, *Newton and the "Principia"*; *Philosophical Magazine*, ser. 7, vol. 33, nº 227 (dezembro de 1942), p. 878.
- (4) A. Ferguson, loc. cit., relata ainda que, na mesma ocasião, Wren, esportivamente, "para encorajar a investigação, disse que daria ao Sr. Hooke um prazo de dois meses para apresentar-lhe uma demonstração convincente disso e, além da honra, aquele de nós que o conseguisse ganharia dele como presente um livro de quarenta shillings". Hooke, no entanto, alegou que pretendia manter sigilosa sua demonstração por mais algum tempo, para que outros, que também investigavam o mesmo problema, pudessem valorizá-la devidamente quando ele a publicasse.
- (5) As dificuldades financeiras da *Royal Society* na época podem ser apreciadas pelo seguinte relato. Pouco antes ela editara uma obra intitulada "*Willpughby de Historia Pinacium*", um volume erudito e muito oneroso. Atrasaram-se os salários dos funcionários da Sociedade (entre os quais Hooke e Halley) e o Conselho da entidade resolveu pagar-lhes em "livros de peixes"; Halley concordou, mas Hooke pediu seis meses para refletir... Algum tempo depois, a Sociedade encarregou Halley de medir um grau de longitude, trabalho que seria remunerado com "£ 50 ou cinquenta livros de peixes". (A. Ferguson, loc. cit.).

- (6) R. Dugas, op. cit., pp. 366-367.
- (7) Sir E.N. da C. Andrade, *Newton; The Proceedings of the Physical Society*, vol. 55, part 2, pp. 129-45 (1943). Conferência comemorativa do 3º centenário de nascimento de Newton.
- (8) R. Dugas, op. cit., p. 554.
- (9) Em junho de 1696, Jean Bernoulli lançou um desafio aos matemáticos europeus, publicando nas *Atas de Leipzig* dois problemas cuja solução requeria um profundo conhecimento do cálculo. Um desses problemas tornou-se famoso: determinar a curva entre dois pontos dados tal que uma partícula deslize ao longo dela no menor tempo possível, sob o efeito apenas da gravidade (braquistócrona). Newton só tomou conhecimento dos problemas em 29 de janeiro do ano seguinte; no dia imediato ele entregou as soluções ao presidente da *Royal Society*, tendo sido enviadas anonimamente a Bernoulli. Este, sem hesitar, reconheceu seu autor, utilizando a expressão latina mencionada. Cf. E.N. da C. Andrade, loc. cit., p. 137.
- (10) Salomon Bochner, *The role of mathematics in the rise of Science*; Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1981, pp. 126-127.
- (11) Richard S. Westphal, *The construction of modern science*; Cambridge University Press, Cambridge, 1977.
- (12) Sir E.T. Whittaker, *History of the theories of matter and electricity*; Philosophical Library, New York, 1951, 1º volume, p. 29.
- (13) Florian Cajori, *Newton's Principia - A revision of Motte's Translation*; The University of California Press, Berkeley, California, 1947, pp. 630 e seguintes (apêndice).
- (14) R. Dugas, op. cit., p. 445.
- (15) Ibid., pp. 457-458.
- (16) Ibid., pp. 492-494.
- (17) Ibid., pp. 439.
- (18) Florian Cajori, op. cit., p. 635.
- (19) R. Dugas, op. cit., pp. 586-587.
- (20) R. Dugas, op. cit., p. 592.
- (21) Voltaire, *Lettres philosophiques*; Garnier Flammarion, Paris, 1964, p. 90 (quatorzième lettre).
- (22) R. Dugas, op. cit., p. 599.
- (23) H. Crew, *The rise of modern physics*; Baltimore, The Williams and Wilkins Company, 1935, pp. 280, 281.