

- ⁸²E. J. Corey et W. N. Weshburn, *ibid.*, 96, 943 (1974).
- ⁸³W. P. Schneider, R. A. Morge et B. E. Henson, *ibid.*, 99, 6062 (1977).
- ⁸⁴W. P. Schneider, G. L. Bundy, F. H. Lincoln, E. G. Daniels et J. E. Pike, *ibid.*, 99, 1222 (1977).
- ⁸⁵E. J. Corey et H. E. Ensley, *J. Org. Chem.*, 38, 3187 (1973).
- ⁸⁶E. J. Corey, K. C. Nicolaou, M. Shibasaki, Y. Machida et C. S. Shiner, *Tetrahedron Lett.*, 3183 (1975).
- ⁸⁷B. Samuelsson, E. Granström, K. Green et M. Hamberg, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 180, 138 (1971).
- ⁸⁸C. Takeguchi, E. Kohno et C. J. Sih, *Biochemistry*, 10, 2372 (1971).
- ⁸⁹S. S. Braithwaite, et J. Jarabak, *J. Biol. Chem.*, 250, 2315 (1975).
- ⁹⁰E. Granström et B. Samuelsson, *J. Am. Chem. Soc.*, 91, 3398 (1969).
- ⁹¹B. Samuelsson, "Prostaglandins", INSERM, Paris, p. 21 (1973).
- ⁹²E. W. Horton, *Chem. Soc. Rev.*, 4, 589 (1973).
- ⁹³As propriedades bronco-dilatadoras de prostaglandinas da serie E estão descritas a) A. P. Smith, "Prostaglandins", Ed. P. W. Ramwell, Plenum Press, N. Y., p. 203 (1973); b) M. G. Rosenthale, A. Dervinis, et J. Kassari, *J. Pharmacol. Exp. Therap.*, 178, 549 (1971).
- ⁹⁴J. F. Bagli, R. Greenberg, N. A. Abraham et K. Peltz, *Prostaglandins*, 11, 981 (1976).
- ⁹⁵R. Greenberg, K. Smorong et J. F. Bagli, *Prostaglandins*, 11, 961 (1976).
- ⁹⁶a) R. Greenberg, et K. Smorong, *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 53, 799 (1975); b) R. Greenberg et G. Beaulieu, *ibid.*, 52, 1 (1974).
- ⁹⁷A. L. Oronsky et J. W. F. Wasley, *Ann. Reports in Med. Chem.*, 11, 51 (1976).
- ⁹⁸a) H. C. Kluender, W. D. Woessner, G. P. Peruzzotti, W. G. Biddlecom, M. L. Błoczynski, E. Hong et H. Vidrio, *Adv. Prostaglandins and Thromboxane Res.*, 2, 871 (1976); b) W. Lippmann, *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 180, 332 (1971).
- ⁹⁹W. Bartmann, *Angew. Chem. Internat. Edit.*, 14, 337 (1975).
- ¹⁰⁰S. M. M. Karim et P. G. Adaikan, dans "Prostaglandins: Physiological Pharmacol. and Pathological Aspects", S. M. M. Karim (ed.), M. T. P. Press Ltd., Lancaster, p. 327 (1976).
- ¹⁰¹M. F. Cuthbert, *Brit. Med. J.*, 4, 723 (1969).
- ¹⁰²W. Lippmann, *Prostaglandins*, 10, 1 (1974).
- ¹⁰³M. Dukes, W. Russell et A. L. Walpole, *Nature*, 250, 330 (1974).
- ¹⁰⁴J. Csepli et A. I. Csapo, *Prostaglandins*, 10, 689 (1975).
- ¹⁰⁵N. S. Crossley, *Prostaglandins*, 10, 5 (1975).
- ¹⁰⁶P. T. Copps, G. B. Anderson, M. Drost, B. Darien et M. B. Hurton, (*Theriogenology*, 8, 111-18 (1977); *Chem. Abstr.*, 88, 8049 (1977)).
- ¹⁰⁷a) P. Crabbé, et H. Carpio, *Chem. Comm.*, 904 (1972); b) P. Crabbé, H. Carpio et A. Guzman, *Intra-Science Chem. Rept.*, 6, 55 (1972); c) P. Crabbé, J. H. Fried, A. Guzman, *U. S. 3,873, 598, Chem. Abstr.*, 84, 58744W (1976).
- ¹⁰⁸a) J. Fried, S. Heim, S. J. Etheredge, P. Sunder-Phasman, T. S. Santhana-Krishnan, S. Himizu et C. H. Liu, *Chem. Comm.*, 634 (1968); b) M. Ishizawa et E. Miyazaki, *Prostaglandins*, 11, 829 (1975).
- ¹⁰⁹A. Bennett et J. Posner, *Br. J. Pharmacol.*, 42, 584 (1971).
- ¹¹⁰R. J. Flower, *Pharmacol. Rev.*, 26, 33 (1974).
- ¹¹¹K. H. Gibson, *Chem. Soc. Rev.*, 6, 488 (1977).
- ¹¹²J. A. Barrowman, A. Bennett, P. Hillenbrand, K. Rolles, D. J. Pollock et J. T. Wright, *Brit. Med. J.*, 12 (1975).
- ¹¹³R. H. Kahn, W. E. M. Lands (Dds.), "Prostaglandin and cAMP", Academic Press, New York, N. Y., 1973.
- ¹¹⁴K. H. Gibson, *Chem. Soc. Rev.*, 7, 4 (1977).
- ¹¹⁵S. Moncada, F. B. Ubatuba, N. G. Read, J. R. Vane, VII Congresso Latino-Americano de Farmacologia, USP, São Paulo, SP.
- ¹¹⁶J. R. Vane, A. L. Willis, *Nature New Biology*, 231, 235 (1971).
- ¹¹⁷J. R. Vane, *ibid.*, 231, 232 (1971); S. H. Ferreira, S. Moncada, J. R. Vane, *ibid.*, 231, 237 (1971); R. Flower, R. Gryglewski K. Herbaczynska, J. R. Vane, *ibid.*, 238, 104 (1972).
- ¹¹⁸M. Hamberg, *Biochem. Biophys. Res. Commun.*, 49, 720 (1972).
- ¹¹⁹R. Deraedt, S. Jouquey, J. Benzoni, M. Peterfalvi, *Arch. inter. Pharmacodyn.*, 224, 30 (1976).

ARTIGO

A ESTRUTURA METODOLÓGICA DO PRINCÍPIA DE NEWTON

Shozo Motoyama

Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Cx. Postal 8105

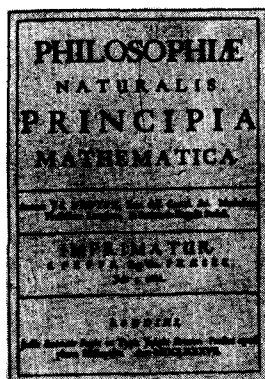
São Paulo, S. P., Brasil

(Recebido em 01/12/1978; 01/03/79)

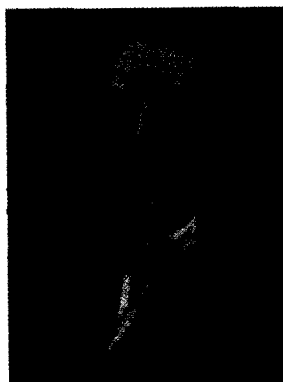
Passados três quartos do século XVII, a situação no campo da Mecânica poderia ser considerada como singular. De um lado, havia se acumulado um respeitável conhecimento sobre o assunto. Principalmente em termos de *caracterização substancialística*, os resultados tinham sido brilhantes. Desse modo, conhecia-se *como* os corpos caíam sob a ação da gravidade, *como* os planetas giravam em torno do Sol, *como* os corpos materiais se comportavam nos choques. Particularmente, o estudo desse último assunto, cuja importância já tinha sido antevista por Galileu e Descartes, revelara uma série de importantes grandezas físicas relacionadas com o movimento, tais como quantidade de movimento, energia mecânica, força centrípeta, etc. Nesses descobrimentos a atuação de Huygens com as suas teorias corretas sobre os choques, os pêndulos e os movimentos circulares, foi decisiva. Entretanto, por outro lado, *ao nível essencialístico* vivia-se num clima de marasmo cético. A grande tentativa cartesiana de teorização sistemática foi recebida com muita incredulidade e oposição. Evidentemente, a própria característica da teoria cartesiana, com a sua ousada dose de especulação predispunha-se à crítica de todos os tipos. O mecanicismo do tipo positivista então em voga na França, não tinha profundidade suficiente para compreender o verdadeiro significado do empreendimento de Descartes. O trabalho deste tinha sido a primeira expressão significativa, ao nível de teorização científica, de nova cosmovisão vigente: o mecanicismo. Era, destarte, a primeira tentativa de síntese dentro de novas coordenadas mentais. Por isso, as críticas mais pertinentes deveriam versar não só ao nível dos fenômenos individuais, mas fundamentalmente ao *nível da teoria física*. Contudo, para isso, seria necessário compreender *corretamente* a posição das descobertas substancialísticas dentro do contexto da filosofia da Natureza. Entrementes, afora Huygens, a grande maioria havia compreendido escassamente esse ponto.

De qualquer modo, principalmente na Inglaterra, o centro de interesses dos filósofos naturais deslocava-se visivelmente para a investigação das relações entre força e movimento¹. Por exemplo, retomou-se com bastante entusiasmo a idéia Keple-

riana de atribuir o movimento dos planetas a uma força emanada do Sol. Em 1666, Alphonse Borelli desenvolveu uma teoria quantitativa explanando a órbita elíptica dos planetas através do equilíbrio da força gravitacional com uma centrífuga. Como já havia pensado Kepler, os planetas seriam impelidos em seus cursos pelos movimentos giratórios de raios de força originários do Sol. Num ponto, todavia, Borelli diferia de Kepler: para ele o movimento natural dava-se em linha reta e não em círculo.



Frontispício da primeira edição de *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*.



Edmund Halley: Amigo incondicional de Newton que por sua vez possuidor de um temperamento intempestivo, angariou a inimizade de muitos cientistas famosos da época como Robert Hooke, Leibniz, John Flamsted e outros, com os quais sustentou calorosas polemicas.

Desse modo, seguia-se a importante consequência de que a força gravitacional teria a responsabilidade de *encurvar* a trajetória dos planetas em órbitas elípticas. Borelli, porém, não foi capaz de discutir o problema quantitativamente². Robert Hooke, também se vinha ocupando do problema há bastante tempo. De 1662 a 1666 realizou alguns experimentos com o fito de provar a variação da força gravitacional com a distância. Comparou diversos pesos em circunstâncias diversas tais como em poços profundos ou dentro das minas, na superfície terrestre ou nas montanhas, sem no entanto encontrar conclusões decisivas. No ano de 1674, Hooke desenvolveu uma teoria de atração gravitacional nos seguintes moldes. Um corpo em movimento retilíneo uniforme continuaria o movimento em linha reta a menos que uma força o encurvasse. Todos os astros possuiriam força de atração dirigida para o seu centro. Essa força seria tanto maior quanto menor fosse a distância entre os corpos. A órbita elíptica dos planetas seria o resultado da ação da força de atração do Sol³. O grupo de sábios reunidos em torno da Royal Society constituído por Hooke, Wren e Halley conseguiram por volta de 1679, chegar à lei do inverso do quadrado da distância da força gravitacional graças ao uso das leis corretas da força centrípeta deduzidas por Huygens. Entretanto as suas demonstrações eram incompletas, coisa reconhecida pelo próprio grupo.

No verão de 1687, foi publicado "*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*" de Newton. Esse livro constituía-se não só na resolução do problema do movimento dos planetas mas de todos os problemas mecânicos conhecidos na época. Toda base teórica da Mecânica e da própria Física dos 200 anos seguintes estava condensada nas suas 500 páginas. Realmente, o "*Principia*" constituía-se na síntese magistral de praticamente todo o esforço dos filósofos naturais do século XVI e XVII. Newton, a exemplo de Huygens, parece ter sido muito influenciado por Descartes e Galileu⁴. Deste modo, ele preocupou-se em estabelecer os novos princípios da filosofia natural ao mesmo tempo que se interessou pelas conexões concretas da sua teoria com a Natureza. Percebendo o perigo de tentar estabelecer de uma só vez os princípios últimos da Natureza, ele adotou uma atitude bem mais prudente que Descartes. Habilmente, estabeleceu os contornos da validade da sua teoria sem explicitá-la demasiadamente. "Contudo, os erros não estão na arte, mas nos artifícios... Porque a *ação de desenhar* as retas e os círculos, sobre a qual *se funda* a geometria, pertence à Mecânica. A Geometria não nos ensina a desenhar estas linhas, mas requiere-as. Porque ele vindica que o aprendiz antes de entrar na Geometria seja ensinado primeiro como desenhá-las acuradamente. Então mostra-se como os problemas podem ser solucionados com essas operações. Descrever linhas retas e círculos são problemas, porém não são problemas geométricos. A solução destes problemas é *requerida da Mecânica*, e quando resolvidos, a *Geometria mostra como utilizá-los*. E é a glória da Geometria que desses *tão poucos princípios, trazidos de fora, seja capaz de produzir tantas coisas*. Por conseguinte, Geometria é baseada na prática mecânica, e nada mais é do que *parte da Mecânica Universal*, propondo e demonstrando a *arte da medida*⁵". Nessas palavras aparentemente despretenciosas esconde-se toda uma atitude epistemológica e metodológica. De início, atente-se ao fato da *Geometria* estar sendo tratada como parte de uma *Mecânica teórica* mais geral. Dito de outro modo, a geometria constituir-se-ia no produto de uma *construção lógica e sistemática* a partir de princípios e leis obtidos das *abstrações e generalizações* da prática mecânica. As leis e princípios seriam, ao nível de uma teoria mais geral, soluções (*Ex Mechanica postulatur horum solutio, in Geometria docetur solutorum usus. Ac gloriatur Geometria quod tam paucis principis aliunde petitis tam multa prestat*). Determinados os contornos das aplicações dessas soluções, a teoria física se confundiria a nível da formalização com a teoria matemática. Essa seria uma característica da *Física teórica* e essa seria uma função da *Matemática*. Foi justamente essa liberdade matemática de poder tratar abstratamente os fenômenos, uma das razões do sucesso da síntese newtoniana⁶.

"Nesse sentido, a *Mecânica racional* será a Ciência do movimento resultante de forças quaisquer, e das forças requeridas para produzir quaisquer movimentos precisamente propostas e demonstradas. *Esta parte* da Mecânica, foi cultivada pelos antigos até onde foi concebido as cinco potências relacionadas com as artes manuais. Relativamente à gravidade (não sendo uma potência manual) eles (os antigos) não pensaram-na a não ser como pesos em movimento pela ação destas potências. Todavia, eu considero antes filosofia do que artes; escrevo não sobre potências manuais mas sobre as naturais; e trato principalmente com aquelas coisas relacionadas à gravidade, leveza, força elástica, resistência de fluídos e de forças semelhantes, seja atrativa ou repulsiva; por conseguinte ofereço este trabalho como os *princípios matemáticos da Filosofia*. Porque toda *dificuldade* da

OS QUINZE RETRATOS DE NEWTON

Sir Isaac Newton nasceu no dia 25 de Dezembro de 1642 (no calendário juliano ainda vigente na Inglaterra daquele tempo. No novo calendário gregoriano corresponde ao dia 05 de Janeiro de 1643) em Woolsthorpe no condado de Lincoln e faleceu no dia 20 de março de 1727 em Kensington. Depois de ter cursado a Universidade de Cambridge (1661-1665) tornou-se fellow do Trinity College em 1667. Dois anos depois foi nomeado para a cadeira "professor Lucas" e lecionou óptica. No ano de 1689 tornou-se o chefe da Casa da Moeda de Londres, posto cobiçado por muitos. De 1703 até o ano da sua morte em 1727 foi ininterruptamente presidente da Royal Society. *Philosophiæ naturalis Principia Mathematica*, 1687 e *Opticks*, 1704 são considerados como seus livros mais importantes. Dentre as suas descobertas científicas destacam-se a do espectro de luz, a da gravitação universal e a do cálculo diferencial e integral. Em consequência destas e também do contexto sócio-cultural da Inglaterra do século XVII, Newton alcançou ainda em vida uma consagração invulgar nem sequer sonhada por qualquer outro cientista. Como que refletindo essa fama conhecem-se muitos retratos a óleo do grande cientista, quinze pelo menos. Mas ao que tudo indica, a maioria delas não são imagens fiéis dele, sendo apenas reproduções recriadas de outros retratos. Segundo More, um dos seus biógrafos, os retratos mais condizentes com a realidade histórica seriam (5), (6) e (7). Contudo, como pode More, homem do século XX, asseverar isso? Nas reentrâncias da História e na imaginação dos pintores obséquios esconde-se a verdadeira face do sábio inglês. Poderá o amigo leitor retirar o véu do passado e distinguir entre os quinze retratos a falsa e a verdadeira imagem de Newton?

Filosofia parece consistir nisto: *investigar as forças da Natureza dos fenômenos dos movimentos e destas forças demonstrar outros fenômenos*⁷". Ele delimitou claramente o estudo da mecânica racional como estudo do movimento a partir de forças e vice-versa. Note-se que ele nada diz sobre a *explicação filosófica* dessas forças. Depois dessa demarcação de limites ele propõe-se a estabelecer os princípios matemáticos desse campo. Seguindo a *sua filosofia mecanicista do Mundo*, esses princípios seriam fundamentais, àquele nível, para filosofar sobre a Natureza. Portanto, a mecânica newtoniana pressupõe uma *conexão espacial* entre a Matemática e a Filosofia (Ciência). A Matemática seria uma abstração da realidade, porém determinados os limites dessa abstração, o conhecimento matemático seria o mais preciso possível dessa mesma realidade e de outras correlatas. Por esse motivo serviria também para a investigação dessas últimas. Destarte, "O trabalho dos matemáticos é encontrar a força que pode servir *exatamente* para reter um corpo numa *dada órbita* com uma *dada velocidade*; e vice-versa, determinar a *trajetória* curvilínea de um corpo projetado de um *dado lugar*, com uma *dada velocidade* desviando da sua trajetória retilínea natural por meio de uma *dada força*⁸". Em outras palavras, admitidos os princípios matemáticos e conhecidas as condições de contorno, o problema seria muito mais do matemático do que do filósofo (cientista) da Natureza.

Entretanto, o estabelecimento dos princípios e das definições a serem adotadas dentro da mecânica racional (matemática) seria tarefa do filósofo da Natureza. Por isso analisemos com cuidado a parte introdutória do Principia onde aparecem as definições e leis fundamentais. Apesar de ser um adepto da teoria mecanicista corpuscular, Newton evitou cuidadosamente as *conexões diretas* do tipo cartesiano entre as partículas e os fenômenos. Em vez disso introduziu um *fator de mediação* entre o microcosmo e o macrocosmo na forma de *massa*. Esta é definida como: "A *quantidade da matéria* é a *medida* do mesmo, surgida do produto da sua densidade pelo volume⁹". Gostaríamos de lembrar que essa definição, no sentido estrito, seria tautológica¹⁰. Porém, para Newton, não havia esse problema de tautologia, pois a densidade não precisava de definição. Para um *meanicista corpuscular* como ele, a matéria teria propriedades uniformes e, em consequência, a sua quantidade seria proporcional a sua extensão. Onde, para a mesma matéria, a massa é definida precisamente pelo volume¹¹. Isto significa que essa definição de massa pressupõe um *contexto mental* sublinhado por uma *cosmovisão mecanicista e corpuscular*.

A segunda definição, a da quantidade de movimento, é também muito importante porquanto dá a medida do movimento como o produto da velocidade pela massa¹². Nesse caso, Newton superou as descrições inteiramente *cinemáticas* introduzindo a *quantidade de matéria* (massa) como um *fator dinâmico* de caracterização do movimento. Isto fica claro ao verificar o relacionamento da massa com a definição III, a de "*Vis insita*", uma força interna ao corpo e responsável pela inércia do mesmo. "Essa força é sempre proporcional ao corpo e em nada difere da inatividade da massa... O fato de um corpo ser mudado com dificuldade do seu estado de repouso ou de movimento é devido à inércia da matéria¹³". Nas cinco definições seguintes, definem-se a força externa ("*vis impressa*") e a força centrípeta ("*vis centripeta*") e as *medidas* desta última mostrando de modo inequívoco que a estrutura da *mecânica racional* a ser desenvolvida vai repousar na lógica do relacionamento entre a força e o movimento. A esse nível *teórico-matemático*: "Não importa qual a causa (dessas forças), se um corpo central (tais como o ímã no centro da força magnética ou a Terra no centro da força gravitacional) ou se qualquer outra coisa que ainda não apareceu. Aqui se trata apenas de Matemática. Não estou examinando, agora, sedes e causas físicas da força¹⁴".

Entretanto, mesmo considerando apenas o aspecto teórico-matemático, havia uma dificuldade fundamental para estabelecer a *relação matemática* entre a força e o movimento. Tratava-se da *relatividade* observada nos movimentos. Galileu, por exemplo, por não ter se preocupado com causas físicas (forças ou qualquer outro ente físico) não teve de considerar tão seriamente o problema da relatividade do movimento. Para Newton, todavia, a resolução dessa questão implicava na validade ou não do seu esquema teórico. Isto porque, "... o movimento relativo pode ser gerado ou alterado sem qualquer força atuando no corpo. Para isso é suficiente tão somente imprimir alguma força sobre outros corpos com os quais o primeiro esteja sendo comparado, movendo-os para alterar a situação mútua de repouso ou de movimento relativo¹⁵". Portanto, ao menos que se pudesse determinar um "movimento verdadeiro", movimento este "nunca gerado nem alterado a não ser imprimindo alguma força ao corpo¹⁶", todo o seu esquema baseado em forças caducaria. Daí a importância emprestada por Newton, ao problema.

Percebendo que este poderia ser contornado com a escolha conveniente de um *referencial físico padrão*, ele estatuiu o *espaço absoluto* e o *tempo absoluto*.

Contudo, do ponto de vista epistemológico a questão continuava delicada, pois, qual a legitimidade de aceitar tais coisas que nem sequer eram captadas pelos sentidos? Nem era Newton um racionalista do tipo Descartes para admitir a *apriori* as *necessidades da razão*. Para evitar tais problemas introduziu níveis diversos na *compreensão epistemológica*. “Não defini tempo, espaço, lugar e movimento por considerá-los coisas bem conhecidas por todos. Devo, unicamente, observar que o povo em geral só consegue conceber essas grandezas em relação com os objetos sensíveis. Daí resultam certos preconceitos que para serem removidos parecem indicar a conveniência de distinguir essas grandezas em absoluta e relativa, em verdadeira e aparente e em matemática e comum¹⁶”. Com esse intróito, está preparado o terreno para as aparições de tempo e espaço absolutos como *abstrações de tempo e espaço “sensoriais”*. Com isso, pode-se definir, ao lado do movimento relativo, o *absoluto* (*Motus absolutus est translatio corporis de loco absoluto in locum absolutum, relativus de relativo in relativum**).

Todavia o próprio Newton estava ciente da precariedade experimental das suas “abstrações”. Destarte, procurou *conexões concretas* entre o seu movimento absoluto e a Natureza. Note-se que para ele, tanto quanto para Galileo, a existência dessa conexão entre a grandeza abstraída e a grandeza real era crucial. Porque a filosofia da Natureza não é simples matemática nem conjectura pura. É evidente que uma vez demonstrada essa conexão, ao nível de teoria matemática, ele não necessita voltar mais a ela nem tampouco aprofundá-la. Mas é essencial a conexão. “Os efeitos que distinguem o movimento absoluto do relativo são as forças do afastamento de eixo de movimento circular. Porque, no caso do movimento circular puramente relativo, não existem tais forças, enquanto no movimento circular absoluto e verdadeiro elas podem ser maiores ou menores, de acordo com a quantidade de movimento. Se um recipiente suspenso por um longo fio for forçado a dar tantas voltas quanto necessário para torcer fortemente o referido fio e ficar então em repouso depois de ser cheio com água; nisso, por uma ação súbita de uma outra força, ele é rodopiado no sentido contrário; então enquanto o fio se desenrola o recipiente continua nesse movimento por algum tempo; no início, a superfície da água continua do mesmo modo que antes do recipiente começar a mover; mas depois disso, o recipiente comunicando gradualmente o seu movimento à água, fará esta iniciar-se a revolver sensivelmente de modo a recuar pouco a pouco do meio para ascender nas suas bordas, formando ele próprio uma figura côncava (como na experiência feita por mim próprio). E quanto mais rápido se tornar o movimento mais alta se elevará a água até que no fim executará revoluções como o mesmo tempo do recipiente, ficando em repouso em relação a ele¹⁶”. Ou seja o movimento absoluto se evidenciaria na forma côncava da superfície aquática. Isso porque, não obstante o movimento relativo (entre a água e o recipiente) ter cessado de existir, como continua a atuar uma força na água, a superfície desta continuaria deformada. E Newton associa essa deformação ao movimento absoluto. Entretanto, em realidade não existe nenhuma garantia para tal afirmação a menos que se aceite os seus próprios *pressupostos teóricos*. Destarte, apesar da ênfase newtoniana do tipo “Esta ascensão da água mostra o seu “conatus” tendendo a afastá-la do seu eixo de movimento. O movimento circular absoluto e verdadeiro da água, que é diretamente contrário ao relativo, torna-se então conhecido e pode ser medido por este “conatus”. No começo, quando o movimento relativo da água em relação ao recipiente atingia o máximo, não se produziu nenhum “conatus” tendendo a afastá-la do eixo; a água não mostrou tendência alguma para a circunferência (periferia), nem tampouco qualquer ascensão na direção dos lados do recipiente, permanecendo uma superfície plana. Por conseguinte, o verdadeiro movimento circular não tinha começado ainda. Mas, depois, quando o movimento relativo da água decresceu, a ascensão da mesma em direção aos lados do recipiente indicava o “conatus” para retrocedê-la do eixo. E esse “conatus” mostrou o movimento circular real da água aumentando continuamente até ele ter adquirido a sua quantidade máxima, quando a água ficou em repouso relativamente ao recipiente. Portanto, este “conatus” não depende de qualquer translação da água com respeito aos corpos ambientes, nem o movimento circular verdadeiro pode ser definido por tal translação. Existe somente um movimento circular real de qualquer corpo em revolução, correspondendo a um único “conatus” com o seu efeito próprio e adequado¹⁶”, nada se podendo dizer com certeza sobre o movimento absoluto. Felizmente, para estabelecer os *princípios matemáticos* o importante era ter um sistema de referência “bem escolhido” mas não necessariamente *real*. Bastaria que ele servisse de *padrão* para a *comparação dos sistemas reais*. O resto dependeria da *habilidade* de filosofar do cientista.

Entretanto é preciso também não confundir o *real* com o *sensorial*. As grandezas reais seriam grandezas subjacentes às sensoriais, imperfeitamente expressas nestas. No plano teórico, elas seriam *abstrações matemáticas* de diversas grandezas relativas e estaria exprimindo um *nível mais profundo* do conhecimento. “Logo, as quantidades relativas não são quantidades em si de coisas das quais levam os nomes, mas medidas sensíveis (precisas ou imprecisas) das mesmas e elas são usadas comumente no lugar das próprias quantidades a serem medidas. E, se o significado das palavras é determinado pelo seu uso, então nomes tais como tempo, espaço, lugar e movimento devem ser entendidos convenientemente como suas medidas (sensoriais). Se se quiser expressar a quantidade medida em si a expressão se tornará insólita e puramente matemática. Por isso, quem interpreta essas palavras como sendo as quantidades medidas, viola a exatidão da língua, a qual deveria manter-se precisa. Por outro lado, quem confunde as quantidades reais com as suas relações mútuas e medidas sensíveis, profana a pureza das verdades matemáticas e filosóficas¹⁶”. Como se pode notar, a lógica do Principia é espacial, com *nuances epistemológicas* que o tornam extremamente fecundo.

“Na verdade, é matéria de grande dificuldade *descobrir e distinguir* efetivamente os *movimentos verdadeiros* dos corpos

*O movimento absoluto é a translação do corpo de um local absoluto para outro absoluto, e o movimento relativo é o de um local relativo para outro relativo.

particulares dos aparentes. A razão disto está no fato das partes desse espaço imóvel, onde esses movimentos são efetuados, não serem por *nenhum meio* suscetíveis às observações dos nossos sentidos. Entretanto, a situação não é de inteiro desesperante. Isto porque temos alguns argumentos para nos guiar, parte vindos dos *movimentos aparentes* que são *resultados das diferenças dos movimentos verdadeiros* e parte vindos das *forças* que são as *causas e os efeitos dos movimentos verdadeiros*²¹". Não obstante os movimentos verdadeiros não serem *captáveis* diretamente pelos nossos sentidos, eles são *traduzíveis* através da tecedura do relacionamento teórico. É claro que afirmações como acima, só são possíveis após ter-se estabelecido os *pressupostos teóricos e cosmológicos*.

Só depois de toda essa elaboração teórica subjacente, são enunciadas as três leis fundamentais e os seis corolários do movimento. É preciso reparar cuidadosamente no fato, muitas vezes despercebido, dessas leis adquirirem ressonância unicamente quando colocadas dentro desse quadro teórico-filosófico. Sem a cuidadosa preparação metodológica das suas *legitimações* dentro de um *contexto de validade*, elas não passariam de leis isoladas sem significados cruciais. Outrossim, se elas não encerrassem e sumariassem o conteúdo substancialístico, toda essa elaboração teórico-filosófica perderia a razão de ser transformando-se em grande medida numa especulação do tipo cartesiano.

Entrementes "... colocamos tais princípios como tem sido recebidos pelos matemáticos e confirmados por abundância de experimentos. Pelas duas primeiras leis e pelos dois corolários iniciais²², Galileu descobriu que a queda dos corpos variava com o quadrado do tempo e que o movimento dos projéteis se encurvava numa parábola. Se deixarmos de lado o fato desses dois movimentos serem algo retardados pela resistência do ar, ambos concordam com a experiência. Quando um corpo está em queda, a força uniforme da sua gravidade agindo igualmente, imprime forças iguais no corpo em tempos iguais, e em consequência origina velocidades iguais. E no tempo todo imprime uma força total, gerando uma velocidade total proporcional ao tempo. E os espaços descritos em tempos proporcionais são proporcionais aos produtos das velocidades com os tempos; isto é; aos quadrados dos tempos²³". Ou seja, invertendo as palavras de Newton, compreendemos como as leis foram descobertas. Foi a análise da *estrutura substancial* da queda (o espaço proporcional ao quadrado do tempo) e do movimento do projétil (parábola) que sugeriu a primeira lei ("Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viribus impressis cogitur statum ibum mutare")*. Quando se acrescentava mais a *característica substancial* revelada nos choques tinha-se as *diretrizes* para a obtenção das outras duas leis. "Pelos mesmos, junto com a terceira lei Christopher Wren, Dr. John Wallis e Christian Huygens, os maiores geômetras dos nossos tempos, determinaram independentemente as regras do impacto e da reflexão dos corpos duros e aproximadamente ao mesmo tempo comunicaram suas descobertas à Royal Society, havendo concordância exata entre eles concernentes a essas regras... Wren confirmou a verdade das mesmas ante a Royal Society através de experimentos com pêndulos, os quais Mariotte, logo depois, pensou ser conveniente explicá-los num tratado inteiro sobre a matéria. Porém, para fazer esse experimento entrar em concordância acurada com a teoria, é preciso levar em consideração tanto a resistência do ar quanto a força elástica dos corpos em choque²⁴".

O gênio de Newton estava justamente em ter compreendido o *significado estratégico* do conhecimento substancialístico no desenvolvimento da filosofia natural. Mais do que isso compreendeu o *alcance e o limite da generalização* com aqueles dados *substancialísticos*. Entendeu tanto quanto Descartes, e provavelmente inspirado nele, que o problema maior era uma *viragem filosófica* sem a qual não seria possível o *estabelecimento da nova ciência*. Entretanto essa viragem teria de ser feita baseada nas *análises do Real*. Os fundamentos da filosofia da Natureza, não só estavam na *razão*, característica do agente cognoscitivo, o Homem, mas também na *estrutura da Natureza*, o objeto cognoscível. Mas devido à complexidade imensa dessa realidade, ela precisaria ir sendo desbravada por etapas e em cada etapa a razão com o seu *discurso racional* delimitaria as fronteiras do conhecimento. É por isso, que ele traça os contornos da Mecânica como uma ciência de relacionamento entre força e movimento e elabora toda uma *estrutura teórica* em íntima conjugação com *análises essencialísticas* da substância. Esta é a *estrutura metodológica* do Principia, considerado por muitos como a maior obra científica de todos os tempos.

*"Todo corpo mantém o seu estado de repouso ou o seu estado de movimento uniforme em direção retilínea, ao menos que seja submetido a uma força externa capaz de mudar o seu estado".

¹ Sobre o desenvolvimento geral do conceito de força no século XVII, veja, por exemplo, R. S. Westfall, "Force in Newton's Physics - The Science of Dynamics in Seventeenth Century", London e New York, 1971.

² G. A. Borelli, "Theoriae Mediceorum Planetarum a Causis Physics Deductae", Florença, 1666.

³ R. Hooke, "An Attempt to Prove the Annual Motion of the Earth from Observations". Cutler Lecture, 1674.

⁴ Não discutiremos aqui as possíveis influências ou a possível formação do pensamento mecânico de Newton. Quem estiver interessado nesses aspectos veja J. Herivel, "The Background to Newton's Principia", Oxford, 1965; I. B. Cohen, "Newton's Second Law and the Concept of Force in the Principia" em *The Annus Mirabilis of Sir Isaac Newton 1666-1666*, Cambridge, Massachusetts e Londres, 1970; Yoshinaka, M. Shoki Newton no En-Undô-Ron to En-shin-ryoku em *Kagakus Kenkyu*, vol. 13, nº 109, 1974, etc.

⁵ I. Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, Londres, 1687 pref. Os grifos são nossos. A partir de agora nos referiremos a este livro apenas como Principia.

⁶ Veja a interessante análise de I. B. Cohen, em "O Nascimento da Nova Física". trad. bras., S. P. 1967, ps. 173-174.

⁷ I. Newton, "Principia", pref. Os grifos são nossos.

⁸ I. Newton, "Principia", 3ª ed. Comentário a def. V.

⁹ I. Newton, "Principia", Def. I. O grifo é nosso.

¹⁰ Porque a densidade é definida como razão da massa pelo volume. Veja por exemplo, A. Sommerfeld, "Mechanics", trad. americana, New York, 1952, ps. 3-4.

¹¹ R. S. Westfall, op. citado, cap. 8; J. Sugai, *Kindai Kagaku Seiritushi*; parágrafo 3 do cap. IV.

¹² Quantita motus est mensura ejusdem orta ex velocitate et quantitate materiae conjunctim. I. Newton, "Principia", def. II.

¹³ I. Newton, "Principia", comentário a def. III. Os grifos são nossos.

¹⁴ I. Newton, "Principia", comentário a def. VIII.