

J. P. PEIXOTO ▪ J. V. GONÇALVES ▪ A. A. MARQUES DE ALMEIDA ▪ J. T. OLIVEIRA ▪ J. P. OSÓRIO ▪ R. CARVALHO ▪ L. ALBUQUERQUE ▪ R. RODRIGUES
J. V. GOMES FERREIRA ▪ F. D. SANTOS ▪ A. J. ANDRADE DE GOUVEIA ▪ A. M. AMORIM DA COSTA ▪ B. J. HEROLD ▪ JOÃO L. L. C. OLIVEIRA CABRAL ▪ J. A. LEITÃO ▪ N. GRANDE ▪ J. C. DA COSTA ▪ A. RODRIGUES ▪ A. TORRES PEREIRA ▪ B. FERNANDES ▪ J. M. GIÃO T. RICO ▪ MILLER GUERRA ▪ M. PORTUGAL V. FERREIRA ▪ J. M. COTELO NEIVA ▪ A. RIBEIRO ▪ M. TELLES ANTUNES
F. C. GUERRA ▪ A. CORREIA ALVES ▪ F. CASTELO-BRANCO ▪ A. FERNANDES
A. R. PINTO DA SILVA ▪ C. M. L. BAETA NEVES ▪ A. X. CUNHA ▪ A. C. QUINTELA
SUZANNE DAVEAU ▪ ORLANDO RIBEIRO ▪ J. E. MENDES FERRÃO ▪ ILÍDIO AMARAL ▪ O. TEOTÓNIO DE ALMEIDA ▪ F. GUERRA ▪ ALLEN G. DEBUS
WILLIAM R. SHEA ▪ A. IRIA ▪ F. R. DIAS AGUDO ▪ M. JACINTO NUNES

HISTÓRIA E DESENVOLVIMENTO DA CIÊNCIA EM PORTUGAL

I VOLUME



PUBLICAÇÕES DO II CENTENÁRIO DA ACADEMIA DAS CIÊNCIAS DE LISBOA
LISBOA • 1986

- 23 *Obras Completas de Gil Vicente*, ed. Marques Braga, vol. VI, pp. 197-200.
 24 *Obras Completas de D. João de Castro*, ed. e vol. cit., p. 184.
 25 *Ibidem*.
 26 *Obras Completas de D. João de Castro*, vol. IV, pp. 231-426, Coimbra, 1981.
 27 Ver por exemplo, e respectivamente, *Obras Completas de D. João de Castro*, ed. cit., vol. I, p. 166 e vol. II, p. 307.
 28 *Idem*, vol. I, p. 171.
 29 *Ibidem*.
 30 *Obras Completas de D. João de Castro*, ed. cit., vol. I, p. 192.
 31 *Idem*, p. 210.
 32 *Ibidem*, p. 243.
 33 Os dois últimos trechos citados podem ser lidos no *loc. cit.*, vol. I, pp. 243-244.
 34 *Idem*, vol. I, p. 128.
 35 *Obras Completas de D. João de Castro*, ed. cit., vol. I, p. 177.
 36 Gabriel Pereira, *Roteiros Portugueses da Viagem de Lisboa à Índia*, pp. 162-167, Lisboa, 1898.
 37 Quirino da Fonseca, *Diários da Navegação da Carreira da Índia*, Lisboa, 1938 e Humberto Leitão, *Viagens do Reino para a Índia e da Índia para o Reino*, 2 vols., Lisboa, 1958. Os aspectos náuticos de alguns destes diários foram estudados com minúcia por Joaquim Rebelo Vaz Monteiro, em *Estudo Cartográfico de uma Viagem à Índia no Século XVI*, Porto, 1970 e *Viagem de Regresso da Índia da Nau «S. Pantaleão» em 1596*, Coimbra, 1974. Um trabalho póstumo deste Autor sobre o mesmo assunto encontra-se no prelo.
 38 Em informação oral prestada pelo Autor.

FÍSICA E FILOSOFIA DA NATUREZA NA OBRA DE INÁCIO MONTEIRO

RESINA RODRIGUES *

SUMMARY

Inácio Monteiro, 1724-1812 graduated in Portugal (from Évora and Coimbra) was a professor in Italy (Ferrara). In the quarrel which set up the Cartesians against the Newtonians he is a conciliatory Cartesian. He admits that the Gravitation law allows a most accurate description of the celestial movements, on the other hand, being faithful to the requirements of the action by contact, he thinks that behind the law there must exist a deeper mechanism, which accounts for the reason why Gravitation shouldn't be regarded as a fundamental law but merely an approximate formulation. This same belief in the action by contact makes him blind to the importance of factorizing \vec{dp} into $\vec{F} dt$.

I - VIDA E OBRA ¹

Inácio Monteiro nasceu em Lamas, no distrito de Viseu, a 16 de Janeiro de 1724. Aos 15 anos entra para a Companhia de Jesus, no Noviciado de Évora. Na Universidade de Évora estuda filosofia, ciências naturais e matemática, obtendo o título de «Mestre em Artes». De 1748

* Instituto Superior Técnico, Departamento de Física.

a 1750 ensina gramática e humanidades no Colégio dos Jesuítas do Porto. Nos anos seguintes é aluno de teologia em Coimbra, no célebre *Collegium Conimbricense*. Defende tese com brilho em 1755. Já antes, em 1753, fora nomeado professor de matemática no mesmo Colégio; fruto desse ensino a publicação, em 1754, do I Tomo do *Compendio dos Elementos de Mathematica*. Após a formatura, ensina filosofia e teologia no Colégio de Santarém. Aí o encontra o decreto de Pombal que expulsa os jesuítas; é preso em 1759 e exilado para os Estados Pontifícios. Colocado como professor de filosofia no Colégio da Companhia de Jesus em Ferrara, torna-se rapidamente um mestre prestigiado. A Universidade de Ferrara convida-o para prefeito de estudos, cargo que exercerá até uma idade muito avançada. «Inácio Monteiro, português, um dos homens mais doutos, faleceu em Ferrara em 1812. A Academia Filosófica de Ferrara a seu tão célebre Mestre, durante tantos anos, prestou as mais honrosas exéquias»². Tinha então 88 anos.

Eis a sua bibliografia:

- *Compendio dos Elementos de Matematica*, 2 tomos, Coimbra, 1754, 1756.
- *Orbis Theologici Mappam* (...), tese de Teologia, [Coimbra, 1755].
- *Philosophia Libera seu Eclectica Rationalis, et Mechanica Sensuum*, 7 tomos, Veneza, 1766 (1.^a edição).
2.^a edição: 1775. Numerosas reimpressões³.
- *Ars Critica Rationis Dirigendæ, seu Philosophica Humanæ Mentis Institutio, LOGICA communi usu nuncupata*, Veneza, 1768 (1.^a edição).
2.^a edição: 1777. Numerosas reimpressões.
- *Principia Philosophica Theologiæ atque Religionis Naturalis, seu Philosophia Rationalis de Deo, Anima Humana, Rerum Intelligibilium notionibus, et primitivis rerum legibus physicis et moralibus, METAPHYSICA vulgo nuncupata* (...), Veneza, 1770 (1.^a edição).
2.^a edição: 1777. Numerosas reimpressões.
- *Theses ex omnibus Philosophiæ partibus excerptæ*, Ferrara, 1771. (8.^o, p. 94).
- *ETHICA Physico — Rationalis Libera seu Philosophia Morum natura hominis ratione naturali deducta* (...), Ferrara, 1794.

II - INÁCIO MONTEIRO E O SEU TEMPO

Inácio Monteiro não foi um criador, nem nunca se apresentou como tal. Foi um homem que procurou compreender e julgar o universo da cultura e para isso se lançou ao estudo, quer das grandes obras do passado, quer dos trabalhos científicos e filosóficos do seu tempo. Foi um professor, e nos seus escritos se sente a paixão de transmitir, de maneira crítica, aquilo que aprendeu.

Nascido e formado no ambiente português da primeira metade do séc. XVIII, cedo se revolta contra o dogmatismo reinante e se sintoniza afectivamente com o iluminismo. Na muito boa biblioteca do Colégio de Coimbra tem a possibilidade de conhecer as obras mais recentes. Por outro lado — como tantas vezes sucede —, intelectualmente continua mais preso do que supõe aos métodos em que se formou. Está longe de ser o profeta que revela aos contemporâneos o sentido profundo do seu tempo, muitas vezes mais parece um escolástico ou um cartesiano contestatário do que um companheiro na aventura cultural do séc. XVIII.

A si próprio se define, gostosamente, como um *eclectico*. Deu volta a Aristóteles e a Epicuro, a Gassendi, Descartes, Newton e Leibniz. «E feita tão arriscada experiência, entendi que todos eles ensinavam algumas verdades, que muitíssimas coisas eram duvidosas e falsas, e que a verdade não era apanágio de nenhum sistema: todos os sistemas humanos sabiam mais a humanidade e a preconceitos dos homens, do que à verdade da natureza. Vi que eram prudentes os filósofos que, isentos de facciosismos, não se enfeudam a nenhuma escola nem a nenhum jugo intelectual, sejam de quem for, mas preferem a liberdade de palavra de pensamento e cultivam uma filosofia ecléctica, isto é, livre, como se fosse uma república da razão»⁴.

Muito na linha do séc. XVII, Monteiro não separa a filosofia da ciência. Kant, seu contemporâneo, será mais avisado, e por isso poderá propor, desde as primeiras páginas da *Crítica da Razão Pura*, que se reconheça aos enunciados científicos uma objectividade e universal validade que os juízos da metafísica não conseguem alcançar. Para I. Monteiro, toda a verdade está sob a alçada do filósofo. E a suspeita que lhe merecem as filosofias da natureza de Descartes, de Leibniz e de Newton inspira-lhe uma igual falta de respeito pela obra propriamente científica destes autores. Note-se, de resto, que, neste tempo, não era tão fácil como hoje saber qual é a ciência «verdadeira»: 80 anos volvidos

sobre a publicação dos *Principia* de Newton, ainda as suas teses eram contestadas ou simplesmente ignoradas.

I. Monteiro possui uma boa cultura filosófica. São inúmeras as referências, não só aos grandes clássicos, mas aos filósofos contemporâneos. Com duas lacunas importantes, que são Berkeley e Kant⁵.

São ainda mais numerosas as citações de matemáticos e físicos. Como Monteiro refere vários manuais e livros de texto, pode em rigor admitir-se que sejam conhecimentos de segunda mão. Fica-se, em todo o caso, com a impressão de que frequentemente o contacto com a fonte é directo.

Seria fácil, mas injusto, julgar a obra de I. Monteiro por referência aos conhecimentos do séc. XX. Sem deixar, em absoluto, de o fazer, há que julgar sobretudo por referência aos conhecimentos daquele tempo.

Mesmo esta tentativa traz uma injustiça consigo: é que hoje nós sabemos, como I. Monteiro não sabia, quais eram as boas referências de então. Hoje, não temos dúvida de que as referências correctas eram, quanto aos fundamentos e à estrutura geral da dinâmica⁶,

- os *Principia* de Newton, cuja 1.^a edição é de 1686 (80 anos antes da 1.^a edição da P.L.),
- a *Mechanica* de Euler, publicada em 1736 (30 anos antes da 1.^a edição da P.L.),
- o *Traité de Dynamique* de d'Alembert, cuja 1.^a edição é de 1743 (23 anos antes da 1.^a edição da P.L.). A 2.^a edição, muito corrigida e aumentada, é de 1758 (8 anos antes da 1.^a edição da P.L., mas 17 anos anterior à 2.^a edição desta obra).

Quanto ao problema do choque, as referências correctas eram as memórias de Wallis, Wren e Huyghens, publicadas em 1668-1669, quase 100 anos antes da 1.^a edição da P.L., e o *Traité de la percussion ou du choc des corps*, publicado por Mariotte em 1677, 89 anos antes da 1.^a edição da P.L. Acrescentemos os trabalhos de Tiago, João e Daniel Bernouilli, entre 1703 e 1726, que antecipam o princípio de d'Alembert, generalizam o princípio dos trabalhos virtuais e lançam nova luz sobre a composição das forças. Indo mais atrás, o *Dialogo* e os *Discorsi* de Galileu, publicados em 1630 e 1638, e os trabalhos de Huyghens sobre a força centrífuga, de 1659.

Acontece, como teremos ocasião de recordar, que I. Monteiro parece ignorar alguns destes textos, aproveita outros só em parte, cita d'Alembert mas é possível que o conheça unicamente através dum comentário.

Isto mostra — como já tinha sido sugerido — que I. Monteiro não é um autor de vanguarda. Num tempo em que escritos medíocres disputavam a palma às obras maiores e em que as opiniões filosóficas dum autor condicionavam a atenção dada aos seus trabalhos científicos, I. Monteiro errou várias vezes na escolha. Diga-se em sua defesa que é um percalço que hoje não sucede aos professores que escrevem livros pela simples razão de que existe uma comunidade científica que julga rapidamente, e em geral de maneira correcta, tudo o que vai aparecendo.

III - INÁCIO MONTEIRO E A RELAÇÃO ENTRE A MATEMÁTICA E A FÍSICA

No *Compendio dos Elementos de Mathematica*⁷, a sua primeira obra publicada, I. Monteiro diz desde o prólogo: «Ninguém ignora que nenhum homem no mundo pode hoje aprender Philosophia sem intelligencia da Mathematica. A Physica verdadeira e que nestes tempos se cultiva, não são os entes de razão, as possibilidades e as chimeras dos antigos, ociosas subtilezas do entendimento humano. Estudamos hoje a Natureza pela observação e pelo cálculo; os entes de razão não se medem por Geometria; porém esta ciência he o fundamento dos acontecimentos physicos que fazem o corpo da Philosophia moderna»⁸.

Na introdução à parte propriamente física da *Philosophia Libera* parece haver um recuo:

«Quanto ao método, nem uso sempre o mesmo nem sempre diverso (...) segundo a diversidade do assunto. Não quis, pois, empregar método puramente geométrico, como costumam fazer os newtonianos, nem escolástico, como fizeram quase todos os restantes; (...).

Nunca pude aprovar que se complicasse a Física com floresta horrenda de métodos espinhosos e que se alagasse com demonstrações geométrica e algébricas, como têm feito alguns (...).

Julgo impossível aprender a Física sem a Geometria. Por isso, antepus às Lições de Física alguns Elementos de Geometria, e emprego

a Geometria e as demais ciências matemáticas sempre que vem a propósito e o assunto o exige.

Mas é imprudência rematada tratar a Física como a Geometria. Já não vivemos no tempo em que muitos filósofos, que hoje seriam recebidos à gargalhada, alcançaram nome notável porque apresentavam em caracteres algébricos e em linguagem sibilina (...) os seus sistemas preconcebidos e afirmavam, de cabeça erguida (...), que os haviam *demonstrado!*

(...) Além disso, a Física experimental é tão agradável, que não suporta o método escolástico e todo esse fastidioso aparato de silogismos (...).

Em cada lição, defino primeiro o que há de obscuro; depois, junto às definições as observações e os factos experimentais, de que se deduzem as verdades da Física; das experiências deduzo as proposições, das proposições os corolários e os escólios; e se, porventura, há argumentos ou dificuldades em contrário, procuro responder-lhes, na medida do possível.

Finalmente, concludo o assunto com fenómenos e respectiva explicação (...)»⁹.

No *Compendio dos Elementos de Mathematica*, os assuntos eram aritmética, álgebra, geometria e trigonometria. O Tomo I da *Philosophia Libera*, que se apresenta como uma introdução matemática ao estudo da Física, consta apenas de geometria. Pelo conteúdo e pelo nível, esta geometria não fica muito atrás daquela que se ensinava no nosso Curso Geral do Liceu, antes da chegada das «matemáticas modernas». A propósito da circunferência, I. Monteiro apresenta a noção de seno. Em apêndice, estuda de maneira puramente geométrica as secções cónicas e enuncia sem demonstração as propriedades métricas destas figuras. Define a cicloide e regista as suas propriedades. Finalmente, ensina a construir uma «linha *logística*, curva célebre entre os géometras mais recentes e muito adequada para resolver certos problemas geométricos». Trata-se de uma curva exponencial. Regista que a intervalos em proporção aritmética no eixo das abcissas correspondem intervalos em progressão geométrica no eixo das ordenadas. «Desta primeira propriedade (...) nasce uma outra, a saber que a série das abcissas (...) é os logaritmos da outra série dos correspondentes (...)». Uma terceira propriedade consiste em que, para a esquerda, «a curva *logística*, prolongada para o infinito, se aproxima cada vez mais do eixo [das abcissas],

sem contudo poder nunca tocá-lo nem cortá-lo: e por isso o eixo é assíntoto da *logística*»¹⁰.

Como noutras ocasiões, I. Monteiro insere uma nota histórica. Nela relata, a traços largos mas de maneira correcta, a evolução da geometria desde a antiguidade. O último período que considera, de 1500 a 1650 é, em sua opinião o mais importante. Exalta a criação da geometria analítica por Descartes e refere as contribuições de C. Clavius, Tacquet, Valísio, Gregório de S. Vicente, dos «dois géometras de primeira ordem que foram Newton e Leibniz» e ainda de l'Hopital, dos «dois Bernouilli», Huyghens e «muitos outros». «Mas, de entre todos, Leibniz e Newton, não contentes com a simples análise dos finitos, que Descartes aplicara já à Geometria, criaram a análise dos Infinitos e, aplicando-a à Geometria, levaram a matemática ao mais elevado cume»¹¹.

Diz que a Geometria se costuma dividir em *Elementar*, *Prática* e *Sublime* ou *Superior*. «A Geometria sublime compreende por sua vez duas partes, a primeira das quais trata das secções cónicas (...) e dos volumes e áreas gerados por estas e por outras curvas parecidas (...). A segunda parte da Geometria sublime, também chamada Geometria superior, essa nobre invenção dos géometras recentes, compreende a Análise das quantidades infinitamente pequenas, isto é, o *cálculo diferencial e integral*, ou método das fluxões directa e inversa»¹². Em todo este contexto são referidos, além de Newton e de Leibniz, os nomes de Barrow, Viviani, Fermat, de l'Hopital, Maclaurin, Deidier e Riccati.

Infelizmente, I. Monteiro não passa desta notícia. Em toda a sua introdução matemática à Física — o Tomo I da *Philosophia Libera* — não mais se falará de Análise Infinitesimal. No desenvolvimento da Física — Tomos seguintes — ela nunca será chamada a intervir. Isto basta para julgar dos limites dum trabalho publicado 80 anos depois dos *Principia* de Newton.

De resto, o papel da matemática nos Tomos II a VII desta obra está longe de corresponder à expectativa criada. São relativamente raras as expressões algébricas; e, mesmo essas, são quase sempre apresentadas em linguagem não formal. Por exemplo, em vez de escrever $\vec{p} = m \vec{v}$, dirá que a quantidade de movimento se obtém multiplicando a massa pela velocidade. Há certamente conclusões que são tiradas de premissas; mas, salvo excepção, são deduções puramente lógicas, em que a fecundidade do raciocínio propriamente matemático não chega a ser requerida¹³.

A questão de saber se e por que razão podem os conceitos da matemática subsumir a experiência é tipicamente kantiana; as questões relativas aos fundamentos são antigas, mas só a partir dos finais do séc. XIX começaram a ser tratadas com algum rigor. Seria incorrecto interpretar os textos de I. Monteiro como estando na linha de posições que só mais tarde vieram a definir-se. Por isso, limito-me a dizer que são interessantes os seguintes passos:

«A Geometria é uma ciência completamente ideal, cujo objecto rigorosamente falando, não existe na natureza, mas só na ideia dos géometras (...). Mesmo que os pontos, linhas, superfícies e volumes que o géometra põe e concebe não existissem na natureza, (...), nem nada de material, mas apenas almas pensantes; o géometra seguiria o seu caminho, definiria ideias, proporia axiomas e postulados, demonstraria proposições e construiria a sua ciência (...). Por isso mesmo, a Geometria, que no estado ideal é uma ciência pura e rigorosa, quando aplicada aos corpos e às outras realidades físicas só é verdadeira por aproximação: na medida em que as coisas e os verdadeiros elementos dos corpos se adequem mais ou menos às ideias dos géometras, mais ou menos se aproximam ou afastam da verdade as regras e as proposições dessas ideias deduzidas»¹⁴.

IV - INÁCIO MONTEIRO E A FÍSICA

«Salvo» do pensamento escolástico pela leitura de Descartes, Inácio Monteiro ficou demasiado dependente deste mestre, mesmo quando o critica ou lhe rejeita certas teses.

Como se tem dito¹⁵, Descartes é autor duma física que a experiência em breve veio desmentir, e de uma filosofia da natureza, o mecanicismo, que penetrou profundamente o pensamento europeu. É sabido que Newton hesitou durante 10 anos em publicar a lei da gravitação porque ela lhe parecia quebrar este padrão filosófico; finalmente, deu a primazia à sua intuição física, mas sem se libertar por completo dum certo sentimento de culpa. Inácio Monteiro, apesar dos seus fumos de eclético, não duvida do mecanicismo nem concebe que um sistema físico possa ter um modelo doutro tipo.

É esta fidelidade demasiado cega ao mecanicismo que o leva a não apreciar algumas das conquistas mais importantes de Newton. Dos

Principia, I. Monteiro aceita as noções de espaço e tempo, absolutos e relativos, e a noção de massa. Recebe a noção de quantidade de movimento e parece interpretá-la, ao contrário do que fizera Descartes, como uma grandeza vectorial; por outro lado, grava-a, muito mais do que Newton, de todo o peso das tradições mais antigas. Embora o seu texto sobre a variação da quantidade de movimento seja muito parecido com o de Newton («a variação do movimento, em quantidade ou em direcção, é proporcional à força motriz impressa, e faz-se segundo a direcção dessa força»¹⁶), as ideias são um tanto diferentes. É um facto que, quer o texto de Newton, quer o de I. Monteiro, contêm apenas palavras, não apresentam a equação

$$\vec{dp} = \vec{F} dt \quad \text{ou} \quad \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

Simplemente, continuando a ler o texto de Newton, compreende-se que ele introduz dois conceitos diferentes, a quantidade de movimento e a força (que hoje representamos por \vec{p} e por \vec{F}) e os liga pela condição matemática $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$. Pelo contrário, lendo I. Monteiro fica-se com a impressão de que ele só se interessa por choques. Embora uma ou outra vez, como no texto acima citado, use o termo «força» numa acepção vizinha de Newton, em geral não recorre a este conceito. Limita-se a considerar (o que é, de resto, correcto) que, quando o corpo A choca com o corpo B, há uma transferência de quantidade de movimento; que, se o corpo A perde a quantidade de movimento $\vec{\Delta p}$, essa quantidade vai acrescer a quantidade de movimento de B; e que esta composição interessa a grandeza e a direcção, isto é, se faz por adição vectorial. Não se interessa por factorizar $d\vec{p}$ em $\vec{F} dt$. É possível que não tenha ideias muito claras a respeito da análise infinitesimal; certamente que não é sensível à questão da dimensão física das grandezas. (Nos seus exemplos, usa valores numéricos omitindo frequentemente a unidade)¹⁷.

Daqui resultam várias coisas: Em primeiro lugar, tem uma terminologia que nos fere. Diz, por exemplo, que utiliza como sinónimos os termos «quantidade de movimento», «impulso», «ímpeto» e «forças de um corpo em movimento». Num choque, dirá que o corpo A exerce

forças ou transmite forças ao corpo B; em geral, está a pensar, não em \vec{F} , mas em $\Delta \vec{p}$. Em segundo lugar, não é levado a pôr o problema dinâmico da maneira que nos é habitual (e que vem de Newton): «Seja uma partícula e seja \vec{p} a sua quantidade de movimento relativamente a um referencial de inércia; suponhamos que está sujeita à força \vec{F} ; ...» Em terceiro lugar, não é conduzido, como nós somos, a definir o impulso e o trabalho dessa força. Não trilha, portanto o caminho que leva a encontrar, de maneira natural e simples, a noção de energia cinética.

I. Monteiro tem notícia da querela das forças vivas, e sabe que «d'Alembert afirmou que se trata duma pura questão de palavras»¹⁸. Cita duas obras sobre o assunto, mas é claro que não leu o texto de d'Alembert. Sobretudo parece claro que não entendeu que o nervo da questão reside em «medir os efeitos» de uma força que actua sobre uma partícula *em termos do tempo e em termos do espaço*, mais precisamente através das grandezas impulso e trabalho, definidas pelos integrais

$$\vec{I} = \int_{t_0}^{t_1} \vec{F} dt \quad \text{e} \quad W = \int_{P_0}^{P_1} \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

Consequentemente, não tem qualquer ideia que se pareça com a da energia cinética. Finalmente, concluirá que a quantidade de movimento é muito importante, pois se conserva nos choques, e que a força viva de Leibniz é dispensável. A este propósito mostra que ela se não conserva nem nos choques «duros»¹⁹ nem nos choques «moles». Suponho que por motivos pedagógicos, omite dizer algo que certamente conhece, que a força viva se conserva nos choques elásticos.

É curioso que a teoria dos choques — elásticos e completamente inelásticos, mantendo-se a direcção — tenha sido estabelecida em 1668-1669 por Wren e por Huyghens sem referência *explícita* à conservação da energia cinética. I. Monteiro, que segue esta teoria, não encontra portanto nela uma razão muito forte para se interessar pela força viva.

I. Monteiro apresenta a expressão correcta para a força centrífuga (conhecida, de resto, desde Huyghens). Ainda neste caso, creio que não fica claro em que se distingue uma força duma quantidade de movimento.

Sabe que Newton propôs o princípio da igualdade da acção e da reacção, mas só o considera válido em certos casos. É um erro grave. Como procurarei mostrar, o erro reside não tanto na rejeição deste

«3.º princípio», como na má compreensão dos outros princípios da dinâmica.

A respeito da gravitação, a sua atitude é significativa. Reconhece que dela se deduzem as leis de Kepler e até as anomalias, interpretáveis como resultante das interacções entre os planetas. Por outro lado, rejeita firmemente toda a «acção a distância», só admite acções de contacto, entre corpos. Suponho que pensa que deve existir um mecanismo complicado, semelhante aos turbilhões de Descartes, cujo resultado final seja, ao menos aproximadamente, proporcional às massas e inversamente proporcional ao quadrado das distâncias. Como quer que seja, não a inclui entre as leis fundamentais da natureza.

Voltemo-nos para questões de método. Monteiro diz que as verdades fundamentais da física são deduzidas da experiência²⁰. Em todo o caso, ele próprio está muito longe de ser aquilo a que hoje chamaríamos um experimentalista. Os factos que cita são transcritos dos manuais; não descreve quaisquer dispositivos experimentais que permitam melhorar o rigor; o problema da medida é-lhe totalmente alheio; não incita minimamente o leitor a que refaça as experiências. A base experimental é apresentada como algo de intangível²¹; curiosamente, acontece que as verificações são em geral extremamente grosseiras. Veja-se, entre outros, este passo:

«O ímpeto, momento ou quantidade de movimento é medido e calculado a partir da massa e da velocidade do corpo. Por exemplo, seja um corpo A de 2 libras, e um corpo B de 4; suponhamos que A se move uniformemente a 4 passos por segundo, e B a 2. Ambos possuem o mesmo ímpeto, como nos ensina a experiência quotidiana: a maior velocidade do corpo A é compensada pela maior massa do corpo B, e inversamente, de modo que têm forças iguais: com efeito, as forças são medidas pelo produto da massa pela velocidade»²².

Outra atitude que hoje nos parece ingénua é a convicção de que se clarifica um problema começando por dar definições (entenda-se: classificar os objectos)²³. Hoje, temos consciência de que as leis mais importantes da física são enunciados ligando certos conceitos; mas compreendemos que a sua originalidade reside não tanto na ligação como na definição dos conceitos. Dito de outra maneira, a definição dos conceitos não é uma actividade de rotina, é o que há de mais importante na física.

De tudo isto resulta que Inácio Monteiro não está acima da dura crítica de R. Dugas: «Os discípulos de Descartes, prisioneiros duma doutrina que tinha, de facto, um carácter totalitário e não lhes oferecia saída, farão figura de neo-escolásticos, pronunciando interditos contra os conceitos newtonianos, sem atenderem aos progressos evidentes da ciência»²⁴.

V – ANÁLISE DE ALGUNS TEXTOS

I. Monteiro trata de Física apenas na *Philosophia Libera*. Na «Carta à Juventude Portuguesa», que antecede o Prefácio, tem ocasião de apresentar as matérias de que se ocupou:

«Ao estudante de Filosofia, já iniciado na Geometria (...), proponho a primeira parte da Física Geral (...). Trato primeiramente da noção, objecto e método da Filosofia e da Física, e das regras de bem filosofar. Trato igualmente da noção e existência dos corpos. Depois, (...) com profunda análise racional, verso a natureza, os primeiros elementos, os princípios e a composição dos corpos (...).

Seguidamente (...), o espaço e o tempo, as propriedades gerais dos corpos, sua grandeza, divisibilidade, inércia, leis gerais da natureza, essência e causa dos movimentos, com as várias espécies — directo, reflexo e refractado —, as forças, elasticidade, moleza, atrito e outras coisas do mesmo teor. Tudo isto é sempre acompanhado com fenómenos da natureza (...).

Os restantes capítulos da Física Geral, como a Mecânica, a Estática e a Física do Baricentro, encontrá-los-eis no segundo volume da Física, ou seja no terceiro da obra (...). Exponho profusamente a famosa discussão das forças vivas e das forças centrais, a teoria da gravidade e seus magníficos frutos, a teoria dos corpos ascendentes e descendentes ou dos projecteis, os fenómenos e as leis que regem a nossa atmosfera, o vácuo, o princípio geral da Mecânica e as máquinas mais simples, que dele derivam, o equilíbrio, a suspensão e a queda dos corpos sólidos, bem como os fenómenos provenientes de tão variadas fontes.

Finalmente, exponho a Física Hidrostática, isto é, dou a noção dos fluidos, sua natureza, pressão, resistência, gravidades específicas, equilíbrio dos sólidos nos fluidos, imersões, movimentos, suspensão e outros fenómenos semelhantes (...).

O quarto volume (3.º da Física) contém a Astrofísica, isto é, a ciência do universo, (...), o globo terrestre e tudo o que observamos e conhecemos, do ponto de vista físico, acerca dos astros e das coisas celestes (...).

(...) Passo ao nosso globo e exponho no quinto volume a Física Geográfica (...).

O volume sexto trata (...) do fogo e do ar (...). Vários fenómenos ígneos, efeitos, forças e natureza do frio, e a termosopia (...). Ainda o tema tão recente e tão actual, como é a electricidade, natural e artificial.

A última parte da Física ocupa o sétimo volume e dá conta do que se refere aos vegetais e aos seres sensitivos (...). Daí se segue o tratado da Optica, em que se descrevem tantos fenómenos maravilhosos, da Física da luz e das cores (...)»²⁵.

I. Monteiro agrupa as matérias em Lições, e apresenta no Índice de cada Tomo os respectivos sumários (tão detalhados, que me não abalanco a traduzi-los). Das 21 Lições que integram o Tomo II, as oito primeiras seriam hoje consideradas como de filosofia. O Tomo III consta de 14 Lições e de um Suplemento de Hidráulica, com extensão correspondente a 2 Lições.

Em vez de seguir a obra passo a passo, vou interrogá-la a partir das posições do nosso tempo. Em todo o caso, mantereí tanto quanto possível a ordem dos vários textos.

1. Espaço, tempo e movimento. Velocidade e aceleração

A Lição IX do Tomo II é consagrada a estes assuntos. Começa da seguinte maneira:

«Chegamos à propriedade mais célebre dos corpos, (...) que é o assunto mais importante de toda a Física e o princípio geral de todos os efeitos naturais da matéria. Com efeito, é pelo movimento que todas as coisas naturais se regem, se realizam, se processam. A constante mudança da natureza, os fenómenos por assim dizer infinitos do mundo observável, ou se realizam pelo movimento, ou o supõem»²⁶.

É, como se vê, a afirmação científica de que o movimento tem um papel privilegiado na Física e, ao mesmo tempo, uma profissão de fé mecanicista.

«Na primeira edição desta obra, antes das lições sobre o movimento, coloquei uma lição sobre tempo, espaço e lugar. Depois disso, mudei de opinião: essas três coisas são demasiado subtis, difíceis e metafísicas; para os principiantes em Física (...) trazem mais confusões do que luz. Todos os homens têm uma ideia do tempo, do lugar e do espaço; apesar de confusa e de não ser possível explicá-la suficientemente por palavras, dá-nos luz suficiente para entender os fenómenos e a natureza do movimento. Mas se houver alguém que pense que deve antepor ao estudo do movimento o estudo da natureza do tempo, do espaço e do lugar, remeto-o para a 2.^a edição da minha *Metafísica*»²⁷.

«O movimento é a passagem de um lugar para outro. Movimento absoluto é a passagem de um para outro lugar absoluto. Movimento relativo é a passagem de um para outro lugar relativo. O repouso é a permanência do corpo no mesmo lugar (...). Lugar absoluto é aquele espaço imóvel, ou aquela parte do espaço, que o corpo ocupa independentemente da referência aos outros corpos. Lugar relativo é a situação do corpo em relação com os corpos vizinhos»²⁸.

«Um corpo pode mover-se com movimento absoluto e estar em repouso relativo; ter movimento relativo e estar em repouso absoluto; ter movimento absoluto e relativo»²⁹.

Estas concepções são praticamente as de Newton. No que toca a este assunto, I. Monteiro distanciou-se já de Descartes. Não é fácil averiguar se tem diante dos olhos o próprio texto dos *Principia*, ou se segue algum comentário fiel.

«Nem o movimento nem o repouso se podem considerar num único instante do tempo: o movimento exige uma sucessão de instantes, nos quais são percorridas diferentes partes do espaço (...)»³⁰.

«Por isso o movimento é necessariamente sucessivo, e exige vários instantes do tempo (...)»³¹.

I. Monteiro tem certamente razão ao afirmar que o movimento não pode limitar-se a um acontecimento no espaço-tempo: na linguagem a que nos acostumou a relatividade (mas podia ser utilizada antes dela), o movimento implica uma linha no espaço-tempo. Por outro lado — e é aí que o seu texto pode ser questionado —, havendo movimento, ele pode ser considerado e estudado em cada instante do tempo, mais precisamente em cada «ponto» do espaço-tempo. O primeiro texto citado pode desviar o pensamento das noções de velocidade e aceleração instantâneas.

Vêm depois várias classificações: movimento rectilíneo e movimento curvilíneo, movimento simples e movimento composto (sobreposição de movimentos), etc.

«Velocidade é a propriedade dos corpos pela qual o móvel percorre, ou pode percorrer, um espaço dado em certo tempo; ou seja, a relação entre o espaço e o tempo do percurso»³².

Como se vê, a definição dada é a de velocidade média. Não querendo ou não sabendo utilizar a Análise Infinitesimal, I. Monteiro tem de omitir a noção de velocidade instantânea.

«O móvel ou tem sempre a mesma velocidade, ou a aumenta, ou a diminui. No primeiro caso, o movimento é *uniforme*; no segundo, *acelerado*; no terceiro, *retardado*. Portanto, o movimento uniforme é aquele em que o móvel percorre espaços iguais em tempos iguais (...). O movimento *uniformemente acelerado* é aquele em que a velocidade sofre incrementos iguais em tempos iguais»³³.

Não se encontra no texto uma definição propriamente dita de aceleração. De resto, I. Monteiro falará de variações da quantidade de movimento, nunca escreverá a equação $\vec{F} = m \vec{a}$.

O estudo da velocidade é retomado na Lição XIV. Aparece aí o teorema da adição das velocidades, no caso de movimentos segundo a mesma recta:

«A *velocidade* pode ser absoluta e relativa. A *velocidade absoluta* consiste num certo deslocamento do corpo, sem relação com o movimento dos outros corpos. A *velocidade relativa* é a velocidade dum corpo

referida ao movimento de outro; ou ainda o excesso de movimento sobre outro movimento feito no mesmo tempo. Se o corpo A caminhar a 4 pés por segundo, e o corpo B a 2; a velocidade absoluta do corpo A é 4, e a relativa é 2, que é o excesso com que supera o movimento de B»³⁴.

Um pouco mais adiante é explicado por palavras que, no caso do movimento uniforme, o produto da velocidade pelo tempo exprime o espaço percorrido. E uma nota acrescenta:

«Seja T o tempo, C a celeridade, S o espaço: afirmo que $S = C T$, ou $S = C \times T$, como foi provado pelo raciocínio exposto»³⁵.

2. O princípio da inércia

Antecipado por Galileu, formulado por Gassendi e Descartes, o princípio da inércia recebe nos *Principia* de Newton uma expressão que ficou clássica. Nas lições X e XI do mesmo Tomo II, Inácio Monteiro mostra que está perfeitamente identificado com tal doutrina:

«A matéria, ou qualquer corpo, tem por sua natureza igual indiferença para o repouso ou para o movimento; o movimento e o repouso são dois estados opostos para os corpos»³⁶.

É claro que esta formulação tem um sabor pré-relativista. Repouso absoluto e movimento absoluto são na mecânica newtoniana diferentes, embora objectivamente indiscerníveis. É sabido que a teoria da relatividade veio tornar o enunciado mais geral e mais simples.

«O corpo, ou a matéria, é por sua natureza massa inerte. Seria pueril imaginar que, como o animal fatigado, o corpo se cansa com o movimento e aspira ao repouso. Por isso é sem qualquer fundamento a opinião dos antigos escolásticos segundo a qual os corpos desejam ou tendem para o repouso»³⁷.

«Portanto, nenhum corpo pode por si próprio passar do estado de movimento ao estado de repouso, ou do estado de repouso ao de movimento»³⁷.

«Pela inércia um corpo em repouso tende a conservar o repouso, e um corpo em movimento tende a conservar o movimento; por intervenção de forças, superada a resistência física, o corpo em repouso é levado ao movimento e o corpo em movimento é levado ao repouso; os corpos resistem pela sua inércia a todas as mutações que façam variar o seu estado de repouso ou de movimento (...). Por isso, um corpo em movimento, por si, continuará sempre em movimento; um corpo em repouso continuará sempre em repouso (...). Suponhamos que um corpo A em movimento, com certa velocidade, não encontra resistência por parte do meio; (...) continuará sempre esse movimento»³⁸.

«A inércia, ou força de inércia, é uma força pela qual os corpos conservam o seu estado de repouso ou de movimento e resistem a todas as suas variações»³⁹.

A expressão «força de inércia» é o simples decalque da «vis inertiae» de Newton; não coincide, como se sabe, com aquilo que hoje designamos por esse nome.

«Já demonstrámos que a inércia é como que um atributo geral inerente a todos os corpos; não nos deteremos a perguntar o que é realmente, ou em que consiste. Não é de esperar que a capacidade humana o atinja»⁴⁰.

«Não há necessidade de admitir não sei que qualidade absoluta, distinta de toda a substância, designada por ímpeto ou impulso, à qual seria atribuída a causa da continuação do movimento nos projecteis»⁴¹.

3. A quantidade de movimento

I. Monteiro dá uma primeira definição da quantidade de movimento na Lição IX, logo após a classificação dos movimentos. Na Lição XIV volta ao assunto, com um pouco mais de rigor.

Para os físicos do séc. XX, a quantidade de movimento é uma grandeza vectorial $\vec{p} = m \vec{v}$ que, juntamente com outras grandezas, intervém nas leis que descrevem o movimento duma partícula.

Mas há uma longa história por detrás. Aristóteles tinha dividido os movimentos em naturais e violentos. Os primeiros resultariam de uma tendência inscrita na própria essência do corpo, os segundos só seriam possíveis pela causalidade permanente de um motor distinto do móvel. Ora, quando se lança uma pedra, ela logo abandona a mão que a atira. Qual passa a ser o motor? Aristóteles faz intervir, de maneira muito pouco clara, uma interacção entre a pedra e o meio, neste caso o ar ambiente. Daí conclui que o movimento seria impossível no vácuo. E ainda, dado que parece haver movimento em toda a parte, que não há vácuo no universo.

A primeira contestação desta doutrina regista-se em Alexandria, no séc. XI. Na opinião de João Filopono, «aquele que lança um projectil infunde neste projectil uma certa acção, uma certa potência de se mover»⁴². Combatida no séc. XIII por S. Alberto Magno e por S. Tomás de Aquino, a ideia é retomada e aprofundada por João Buridan, que foi reitor da Universidade de Paris no séc. XIV: «Quando o motor move o móvel, imprime-lhe um certo *impetus*, uma certa potência de movimento (...). É este *impetus* que move a pedra, assim que aquele que a lança deixa de a mover (...). Quanto maior a velocidade com a qual o motor move o móvel, mais poderoso o *impetus* que lhe imprime (...). Quanto mais matéria contiver o corpo, mais deste *impetus* pode receber»⁴³.

Não vem ao caso seguir em pormenor o desenvolvimento da doutrina. Sublinhe-se, em todo o caso, que, na medida em que considera o *impetus* crescente com a velocidade e com a matéria, Buridan antecipa, de algum modo, a definição $\vec{p} = m\vec{v}$. Benedetti, no séc. XVI, afirma que o *impetus* tende a conservar-se em linha recta, e isto é uma antecipação da inércia. Galileu, no final do séc. XVII, fala de *impeto*, *talento* e *momento*, umas vezes em sentido semelhante ao do *impetus* de Buridan e Benedetti, outras vezes em sentido algo diferente, que não interessa agora focar.

Ainda no séc. XVII, uma das teses fundamentais apresentadas por Descartes, na obra a que deu o título de *Mundo*, é a conservação do movimento, ou da quantidade do movimento. (A este respeito, interessa chamar a atenção para a evolução de certo matiz filosófico: Os autores dos sécs. XVII e XVIII, Descartes e Newton incluídos, parecem estar convencidos de que o movimento é uma «coisa» que tem uma medida natural e óbvia, a «quantidade do movimento». Embora no latim em

que escrevem se não note a distinção, penso que a boa tradução deve utilizar a palavra «do» e não «de». Para nós, a quantidade de movimento é apenas uma das grandezas que convém definir para exprimir as leis da mecânica. É então mais assisado utilizar «de» e não «do»). A ideia de Descartes é então que o movimento se mede pelo produto da massa pela velocidade; ou que a quantidade do movimento é $m v$. Note-se que Descartes considera, não o vector velocidade, mas o seu módulo, não $m\vec{v}$, mas $m|\vec{v}|$. Isso faz que a sua teoria deixe de corresponder à experiência como, já em 1646, notava Roberval.

Nos *Principia*, em 1686, Newton tem o cuidado de definir *massa* e, depois, *quantidade de movimento*. Esta definição é dada por palavras, sem intervenção de símbolos. Em todo o caso, vê-se pela maneira como Newton dela se serve que deve ser representada por $\vec{p} = m\vec{v}$.

Ainda hoje, quer na mecânica clássica, quer na mecânica relativista, mantemos esta definição. A grandeza em questão chamamos «quantidade de movimento» ou ainda «momento linear». Esta última designação suponho que não deriva dum dos termos utilizados por Galileu, mas que tem origem na chamada mecânica analítica. Para cada coordenada generalizada q a mecânica analítica considera um momento generalizado p . Ora a quantidade de movimento segundo o eixo Ox é precisamente o momento conjugado com x .

A palavra «*impeto*» deixou de se usar em mecânica. O termo «*impulso*» recebeu um sentido preciso. É o integral

$$\vec{I} = \int_{t_0}^{t_1} \vec{F} dt$$

que, por assim dizer, mede o efeito temporal da força \vec{F} quando aplicada a uma partícula. Um dos teoremas da mecânica estabelece que o impulso produzido por \vec{F} durante o intervalo de tempo (t_0, t_1) é igual ao acréscimo da quantidade de movimento da partícula durante o mesmo intervalo:

$$\vec{I} = \vec{p}_1 - \vec{p}_0$$

Chamamos «*percussão*» a um impulso quando a força \vec{F} é muito grande e o intervalo de tempo (t_0, t_1) muito pequeno. Esta noção é útil no tratamento dos choques.

A palavra «força» recebeu de Newton um sentido preciso, e é importante não o perder. Do ponto de vista dinâmico, esse sentido tira-se da equação

$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}.$$

Não basta dizer que a força é aquilo que causa a variação do estado de repouso ou de movimento dum corpo: um choque põe a andar ou modifica o movimento dum bola de bilhar. Seja uma interacção entre dois corpos, ou entre um campo e um corpo. A força é uma grandeza⁴⁴ que descreve um certo aspecto da interacção: precisamente, a taxa de variação com o tempo da quantidade de movimento do corpo ou corpos em questão⁴⁵. Seja um corpo de massa $m = 1 \text{ kg}$ que, por efeito da interacção com outro corpo — por exemplo, um choque — passa do repouso, isto é, da velocidade $v = 0$ à velocidade $v = 1 \text{ m/s}$. A sua quantidade de movimento sofreu o acréscimo de 1 kg m s^{-1} . Ora bem, se o choque durou um décimo de segundo, isso significa que a força foi em média $F = \frac{1}{0,1} = 10 \text{ N}$; se o choque durou 1 centésimo de segundo, a força foi em média $F = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ N}$. *Este é um aspecto muito importante, que não parece ter despertado a atenção de Inácio Monteiro.*

Do ponto de vista estático, uma força é algo que pode equilibrar um peso, ou equilibrar uma mola com uma dada deformação.

Um dos aspectos em que sobressai o génio de Newton é ter compreendido que aquilo a que chamou força pode desempenhar quer esta função estática, quer a função dinâmica já referida.

Permita-se a insistência. Na linguagem quotidiana ainda hoje se ouve dizer: a) é precisa força para segurar esta mala; b) é precisa força para levar esta mala até ao 5.º andar; c) é precisa força para esticar esta mola; d) é precisa força para atirar esta pedra; e) esta pedra vai com muita força; f) esta pedra vai bater com muita força naquela parede. Ora, de acordo com Newton, é precisa uma *força* (empregada estaticamente) para segurar uma mala ou para manter uma mola em equilíbrio numa dada posição. Para levar a mala até ao 5.º andar ou para esticar a mola é preciso empregar uma força mas o aspecto mais importante é o *trabalho* dessa força. Para atirar uma pedra,

é precisa uma *força* (empregada dinamicamente); além de utilizar uma força, o agente comunica à pedra uma certa *quantidade de movimento* e uma certa *energia cinética*. Na linguagem que herdámos de Newton não tem sentido dizer que a pedra vai com muita força; pode e deve dizer-se que leva certa *quantidade de movimento* e certa *energia cinética*. Quando a pedra bate na parede, vai exercer uma força; mas, como ficou dito mais acima, o valor desta força depende da maneira como se processe a interacção. (Não tem sentido perguntar qual é a força com que bate no chão um corpo de $m = 2 \text{ kg}$ que caia de 3 m de altura).

Vejamos os textos de Inácio Monteiro. Como Newton, começa por definir a *massa*:

«A massa dum corpo é a sua própria matéria, ou quantidade»⁴⁶.

Como já tive ocasião de referir, a *quantidade de movimento* aparece por duas vezes, na Lição IX e na Lição XIV. Escolho os textos que me parecem mais significativos:

«A quantidade de movimento é para nós exactamente o mesmo que o momento do corpo que se move, as forças motrizes do móvel, o ímpeto, a força e ímpeto do corpo movido, pela qual o corpo se move (...). A quantidade de movimento, tal como a velocidade, pode ser absoluta e relativa (...).

O ímpeto, momento ou quantidade de movimento dum corpo mede-se a partir da massa e da velocidade do corpo. Seja, por exemplo, um corpo A de 2 libras, e o corpo B de 4; suponhamos que A se move a 4 passos por segundo, e B a 2. Ambos possuem o mesmo ímpeto, como nos ensina a experiência quotidiana: a maior velocidade do corpo A é compensada pela massa maior do corpo B, e inversamente, de modo que têm forças iguais: com efeito, as forças são medidas pelo produto da massa pela velocidade.

A quantidade de movimento do móvel consiste nas forças (ver § 259); com efeito, as forças de um corpo em movimento são aquelas que o motor lhe imprimiu»⁴⁷.

O citado § 259 diz o mesmo: «Como assim acontece, é certo que todos os corpos que se movem são impelidos ao movimento por meio dum certo ímpeto, força ou impulso (os três termos significam o mesmo)

que é comunicado pelo motor; recebem-no em si mesmos e retêm-no enquanto se movem, até que o transfiram para outros corpos com que choquem».

Se abstrairmos de problemas de terminologia, a definição é muito semelhante à de Newton. Como ela, não explicita se a quantidade de movimento deve ou não entender-se como grandeza vectorial. A maneira como é utilizada desfaz a dúvida: a grandeza definida pode representar-se por $\vec{p} = m \vec{v}$.

A terminologia fere-nos, sem dúvida, os ouvidos. Resta saber se tudo se reduz a uma mera questão de palavras, ou se elas conduzem a conteúdos físicos diferentes.

Como foi dito, a palavra «ímpeto» serviu para antecipar a ideia da quantidade de movimento, e está hoje fora de uso: não existe portanto problema a seu respeito. A expressão «momento linear» ainda hoje se usa com a mesma acepção de «quantidade de movimento».

A palavra «impulso» designa hoje uma grandeza que tem definição diferente da da quantidade de movimento, mas tal que o seu valor é igual ao da variação da quantidade de movimento. Reconheça-se que da sua confusão não resulta grande mal. Acrescente-se que, no séc. XVIII, não existiam certas inquietações de rigor.

A dificuldade é posta pelas expressões «forças motrizes», «força impressa», «força inserida (insita)». Se I. Monteiro leu os *Principia*, deve ter notado que, para Newton, a *força impressa* (vis impressa) é um conceito chave, distinto da *quantidade de movimento* e articulado

com ela pela equação $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$. Ora, de acordo com os textos que citei, resolve ignorar esta nova noção de *força* (a «vis impressa»), e usa o termo como mais um sinónimo da quantidade de movimento. Porquê?

A minha interpretação é a seguinte: I. Monteiro não se libertou da ideia cartesiana segundo a qual toda a interacção se efectua por choque. No choque, todos estão de acordo em que há uma transferência de quantidade de movimento. Newton leva mais longe a análise factorizando $d\vec{p}$ em $d\vec{p} = \vec{F} dt$, e isso lhe serve para estudar situações mais gerais que a do choque. Inácio Monteiro desdenha esta factorização: apenas se serve de \vec{p} e dos seus acréscimos $\Delta \vec{p}$. Não precisando

de mais nenhuma grandeza, pode dar-se o luxo de aceitar para ela todos os nomes: quantidade de movimento, ímpeto, momento, impulso, força impressa, força inserida, forças motrizes.

Seria interessante conhecer a posição que tomam a este respeito os compêndios de física do séc. XVIII que I. Monteiro refere, mas é uma investigação que não cabe nos limites deste trabalho.

Ainda a propósito da terminologia de I. Monteiro, convém citar um texto que aparece na parte final da Lição IX:

«Pelo termo *ímpeto* entendemos aquela força que o corpo em movimento transporta e que pode transmitir a outros corpos. A *força* (vis) é *aquela esforço ou acção* pelo qual causamos o movimento, ou tentamos causá-lo. Alguns não distinguem as forças do ímpeto. Contudo, a palavra *força* parece ser mais vasta, isto é, compreender coisas que não são significadas no ímpeto: os corpos graves colocados sobre o apoio sem dúvida que exercem força sobre o apoio; não parecem em todo o caso ter ímpeto, a menos que digamos que só há gravidade e pressão se houver movimento. Isto depende da natureza da gravidade. Quanto à resistência, é certa força e obstáculo pela qual o corpo retarda ou impede o movimento de si mesmo ou de outro corpo, lhe diminui ou lhe destrói o ímpeto»⁴⁸.

Como se vê, I. Monteiro considera aqui — e de maneira correcta — o aspecto estático da força newtoniana. Mas, em vez de a identificar

com $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, propõe (embora dubitativamente) a relação de inclusão $\vec{p} \subset \vec{F}$.

A noção de resistência será discutida mais adiante.

4. «As leis gerais da natureza»

Depois das noções fundamentais e do princípio da inércia, que ocuparam as Lições IX a XI, a Lição XII tem por título «Das leis gerais da natureza».

«Explicada já a natureza do movimento (...), convém que, antes de descermos a discutir as propriedades peculiares dos vários movimentos, exponhamos primeiro os princípios gerais, comuns a todo o

movimento, e bem assim as leis universais (...). Chamamos Lei Geral da natureza a *certa regra que todos os corpos do mundo cumprem constantemente ou se aproximam de cumprir* (...).

Descobrimos pela observação quatro ou cinco destas leis universais:

Primeira Lei: Todos os corpos mantêm o estado que já tinham de repouso ou de movimento, enquanto não forem perturbados por forças exteriores (...).

Segunda Lei: Qualquer móvel posto em movimento e abandonado a si próprio descreve uma linha recta, ou tende a descrevê-la (...).

Corolário I: (...) Sempre que um móvel muda de direcção, a causa desta mudança não está no móvel, mas em outra coisa.

Corolário II: Um corpo qualquer que descreve uma circunferência, uma elipse, ou outra curva, sofre um impedimento perpétuo e contínuo para não abandonar a trajectória (...).

Corolário III: Os corpos com movimento circular tendem perpetuamente a afastar-se do centro, e exercem sempre a sua força para se afastarem (...).

Corolário IV: Se em qualquer ponto da trajectória o impedimento for destruído (...), o corpo passa a seguir a recta tangente à curva nesse ponto (...).

Terceira Lei: O movimento ou as forças do corpo que se move perdem-se por comunicação; quer dizer, o corpo em movimento e que choca com outros corpos comunica-lhes movimento e na mesma medida perde forças (...).

*Quarta Lei: Em todo o género de acções que sejam puramente de pressão e esforço e, mais geralmente, em todas as acções de duas ou mais causas, simples ou compostas, nas quais se realize equilíbrio, a resistência é sempre igual à acção, e tem sempre sentido oposto*⁴⁹.

A Lição XIII vai tratar «da resistência dos meios» e a Lição XIV «da velocidade nos movimentos uniformes e da quantidade de movimento». Como já tive ocasião de referir, é na lição XIV que se encontram com maior clareza e rigor as ideias fundamentais desta obra.

Se bem interpreto, a dinâmica de I. Monteiro consiste fundamentalmente na afirmação de que, num choque — único tipo de interacção que o interessa —, se conserva a quantidade de movimento, entendida como grandeza vectorial. À primeira vista, o texto que vou citar mostra que a minha interpretação é incorrecta e que I. Monteiro assume pura e simplesmente a dinâmica de Newton:

«A mudança do movimento em grandeza ou em direcção é proporcional à força motriz impressa, e faz-se segundo a direcção dessa força»⁵⁰.

Pode realmente dizer-se: a) O texto citado é quase decalcado de Newton. b) Se a interpretação que eu proponho é correcta, devia estar «igual» onde está «proporcional».

Mantenho a minha posição. Em meu entender, Monteiro afirma que, num choque entre dois corpos, um deles perde a quantidade de movimento $\vec{\Delta p}$ e o outro recebe essa mesma quantidade de movimento $\vec{\Delta p}$. E diz que essa quantidade de movimento é a «força motriz impressa» por um dos corpos no outro. A continuação do texto creio que favorece a minha interpretação:

«Realmente, o efeito é proporcional às suas causas. Um móvel que comece a andar em certa direcção, abandonado a si próprio, mantém a direcção e a velocidade: toda a mudança de direcção ou de velocidade tem nova causa, deve seguir a sua grandeza e proporção, e acomodar-se à sua direcção. Se um móvel segue na direcção e sentido AB com a velocidade de 4, e for impelido segundo BA a 2, não muda de direcção, mas varia de velocidade: passa a avançar só com 2 unidades. Se avançar segundo AB com a velocidade 4 e for impelido com igual força na mesma direcção e sentido, passará a ter velocidade 8 (...). Se um corpo caminhando segundo AB for impelido segundo AC por outra força, esta segunda causa perturbará a primeira direcção; far-se-á a mudança segundo a direcção AC da nova força, como se explicará com maior desenvolvimento. Esta regra aplica-se a todos os casos»⁵¹.

Deixemos passar a afirmação segundo a qual, num choque frontal, a direcção será certamente mantida, não nos preocupemos com a impropriedade que é falar de *velocidade* quando está em causa a *quantidade*

de movimento. O ponto nevrálgico é este: I. Monteiro interessa-se pela transferência da quantidade de movimento, não se interessa pela taxa de variação da quantidade de movimento com o tempo. Dito de outra maneira, ignora a noção newtoniana da força, ao menos no seu aspecto dinâmico.

«Se um móvel for actuado simultaneamente por várias forças ou impulsos segundo diferentes direcções, de três, uma: ou 1) equilibrando-se e destruindo-se as forças, perde o movimento; ou 2) (sendo na mesma direcção) continua na mesma direcção com o excesso do impulso mais forte sobre o mais fraco; ou 3) segue nova direcção intermédia entre os duas direcções»⁵².

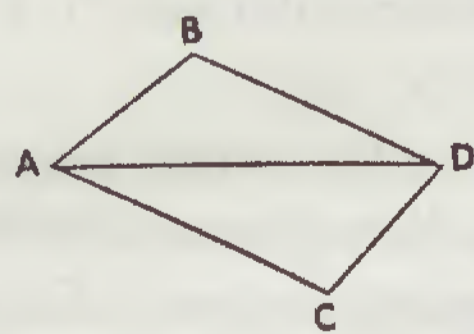
Note-se que, se a palavra «forças» for interpretada no sentido newtoniano, a conclusão 1) é incorrecta, ofende o princípio da inércia. Ora já vimos que I. Monteiro é muito seguro no que diz respeito à inércia. Por outro lado, o texto é correcto se «forças» significar quantidades de movimento.

Até aqui, a mudança de direcção aparecia como resultado de uma percussão. I. Monteiro põe agora o caso mais interessante da trajectória curva⁵³. Vê correctamente que a quantidade de movimento é continuamente modificada. «Em cada ponto». Mas não há qualquer referência à derivada de \vec{p} em ordem a t . Voltarei a este assunto mais adiante, a propósito da «força centrífuga».

«Todo o movimento que se realiza segundo uma linha curva (...) é um movimento procedente de causas múltiplas (...). O móvel que segue uma curva não segue uma direcção certa e simples, mas é perpetuamente desviado em cada um dos pontos da curva, da direcção da tangente para o interior»⁵⁴.

Como em Newton, o problema da composição das forças (?) ou das quantidades de movimento é estudado a partir dos deslocamentos que produzem:

«Se as forças não têm a mesma direcção, por exemplo se o móvel A for impellido segundo as direcções e as forças AB e AC (...) percorrerá a diagonal do paralelogramo ABDC.



(...) Portanto, a força composta das forças simples representadas por AB e AC é bem representado pelo segmento AD»⁵⁵.

Ainda neste contexto de sobreposição de movimentos, I. Monteiro afirma que um objecto abandonado no topo do mastro dum barco em movimento rápido (uniforme) cai junto à base do mastro. E que, se um cavaleiro a galope lançar uma maçã ao ar «para cima e a direito», a recolhe na mão quando ela cair.

A Quarta Lei da natureza é a da igualdade da acção e da reacção. Releia-se o texto. I. Monteiro faz restrições, e é esse o erro mais grave do seu livro. Trata-se, porém, duma posição assumida.

«Se porém a potência p. ex. um cavalo arrasta outro corpo, p. ex. uma pedra, ou se um corpo qualquer em movimento actua sobre outro corpo [que estava] em repouso e o move, a acção será maior que a resistência. Analogamente, [em contrário,] se um corpo em movimento ou uma força qualquer incide noutro corpo em repouso e não consegue movê-lo, de modo que o seu impulso, esforço ou movimento fica inútil ou mesmo se perde, a resistência é maior que a acção (isso acontece com um cavalo que tenta puxar por uma pedra muito grande, por meio de uma corda).

Afirmo pois que *nem sempre há igualdade entre a acção e a resistência oposta*.

Com efeito, se a acção e a resistência são iguais, estão em equilíbrio, e nem o cavalo vence a pedra, nem é vencido por ela; o centro e a parte média da corda, onde confluem a acção e a resistência, não é levado nem para um nem para outro lado, mas está em perfeito repouso (...). Pode objectar-se, com Newton e vários outros: no caso do cavalo que puxa a pedra, a corda tanto é distendida e deslocada no sentido da pedra como no sentido do cavalo; logo, as forças são iguais em ambos os extremos, e portanto também a meio. [Mas respondo:] A distensão da corda é uma medida da resistência da pedra e da parte da acção do cavalo que equilibra aquela resistência; mas não é uma medida da totalidade das forças e acções que o cavalo supera (...).

(...) Chamo acção aquele excesso da acção do cavalo sobre a resistência da pedra, que produz o movimento; a ela não corresponde nem se opõe resistência alguma. Sempre que existir o efeito da causa (e enquanto durar), a acção é maior que a resistência. Se, posta a acção,

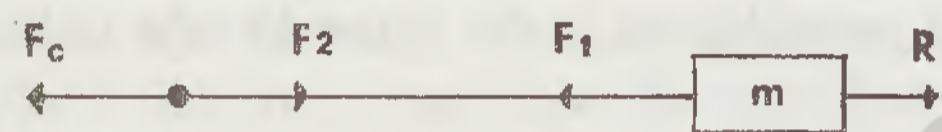
não se seguir efeito, a resistência é maior que a acção. Onde houver equilíbrio, a acção e a resistência são iguais (...). O sistema físico da astronomia newtoniana depende não pouco da Lei da igualdade da acção e da resistência»⁵⁶.

Começo por recordar aquilo que hoje se ensina. Suponhamos que a pedra tem massa m e que, quando em movimento, o atrito opõe uma força R . Seja F_1 a força que a corda exerce sobre a pedra e F_2 a força que a corda exerce sobre o cavalo. Enfim, seja F_c a força que o cavalo exerce sobre a corda. (Não está em causa a força necessária para mover o cavalo). O princípio da acção e reacção diz que, *sejam quais forem as circunstâncias*, $|F_2| = |F_1|$ e $|F_c| = |F_2|$. Logo, F_c , F_2 e F_1 são iguais em módulo. De acordo com a 2.ª lei de Newton, $|F_c| - |R| = m a$, ou ainda $|F_c| = |F_2| = |F_1| = |R| + m a$, a força exercida pelo cavalo (e transmitida integralmente pela corda) é igual à soma da resistência R com a força necessária para vencer a inércia da pedra $m a$. Se o movimento for uniforme, $a = 0$ e vem $|F_c| = |F_2| = |F_1| = |R|$, todas as forças são iguais em módulo.

A primeira dificuldade que se põe no comentário ao texto de Inácio Monteiro consiste em determinar o que ele entende por «força». Tenho sugerido que, do ponto de vista estático, a sua posição não difere muito da de Newton; mas que, do ponto de vista dinâmico, ele designa por «força», não \vec{dp}/dt , mas $\vec{\Delta p}$. Nesta discussão, representarei por « F^* » a força de I. Monteiro.

É estranho que, tendo discorrido tão longamente sobre movimentos inerciais, I. Monteiro não sinta a necessidade de precisar se o movimento é ou não uniforme. Sigamos os seus três casos:

a) O cavalo «nem vence a pedra, nem é vencido por ela». É o caso em que se tem $a = 0$ e $|F_c| = |F_2| = |F_1| = |R|$. Monteiro diz que há repouso. Realmente, pode haver repouso ou movimento uniforme. Parece-me que, também para ele, é $|F_c^*| = |F_2^*| = |F_1^*| = |R^*|$. No fundo, é um problema de estática e já vimos que Monteiro tem ideias correctas em estática.



b) O cavalo «vence a pedra». Nas palavras de I. Monteiro, «a acção é maior que a resistência», $|F_c^*| > |R^*|$. Para nós é também $|F_c| > |R|$. Por outro lado, «a distensão da corda é uma medida da resistência da pedra e da parte da acção do cavalo que equilibra aquela resistência; mas não é uma medida da totalidade das forças e acções que o cavalo supera», $|F_2^*| = |F_1^*| = |R^*|$, donde finalmente $|F_c^*| > |F_2^*| = |F_1^*| = |R^*|$. Nós tínhamos estabelecido que $|F_c| = |F_2| = |F_1| > |R|$. Ainda que \vec{F}^* tenha o significado de $\vec{\Delta p}$, a posição de I. Monteiro é certamente incorrecta: dado que $\vec{dp} = \vec{F} dt$ e os intervalos de tempo são os mesmos desde o cavalo até R , tem-se que $(\vec{F}_i = \vec{F}_k) \Leftrightarrow (\vec{F}_i^* = \vec{F}_k^*)$.

c) O cavalo «é vencido pela pedra». Estamos de acordo em que o cavalo não vence a força de atrito. Por outro lado, a força de atrito só se manifesta na exacta medida em que a pedra é solicitada pelo cavalo, de modo que $|F_c| < |R|$ seria uma maneira abreviada mas incorrecta, de exprimir os factos. Não é clara a posição de I. Monteiro a respeito da relação destas forças com $|F_2|$ e $|F_1|$.

É interessante que I. Monteiro reconheça que «o sistema físico da astronomia newtoniana depende não pouco» da lei da igualdade da acção e da reacção⁵⁷.

Mais significativo é o facto de que aqui termina a Lição sobre as leis gerais da natureza. Entre elas não apareceram, nem a 2.ª lei de Newton, que hoje designamos por «lei geral da dinâmica», nem a lei da gravitação universal. I. Monteiro passa imediatamente, na Lição XIII, ao estudo do atrito que sofre um corpo que se mova num certo meio.

5. As interacções

Embora o tema das interacções não seja explicitamente o objecto de nenhuma das Lições da *Philosophia Libera*, vem a ponto discuti-lo. Como já mais de uma vez sublinhei, I. Monteiro é demasiado fiel à filosofia da natureza mecanicista. Não toma suficientemente a sério a gravitação universal, certamente porque não vê maneira de lhe dar um modelo satisfatório. Resume a dinâmica à teoria dos choques, porque

a sua visão mecanicista o leva a entender toda a interacção como sendo um choque entre partículas.

É curioso que a física propriamente cartesiana lhe suscita algumas objecções. Duvida em particular da tese segundo a qual o universo tem de estar cheio. Por outro lado, pensa que, na Terra, os movimentos se passam, em geral, no seio de algum fluido.

Vejam-se os seguintes textos, que são, pelo menos, curiosos:

«Nenhum corpo tira outro do seu repouso e o determina e impele ao movimento a menos que ele próprio se mova, e pelo movimento produza um impulso que faça mover o outro. Por isso, os corpos justapostos em repouso não perturbam o repouso uns dos outros: para que um arranque outro do seu lugar, é necessário que invista contra ele, como o ensina a experiência quotidiana»⁵⁸.

«É muito célebre a opinião de Descartes e dos cartesianos: afirmam que, uma vez produzida por Deus na criação do mundo, a quantidade de movimento sempre se conserva, e que os corpos não actuam senão por transferirem o movimento de si próprios para outros (...). A matéria subtil do terceiro elemento é para Descartes a conservadora deste movimento; os corpos transferem para ela e dela recebem o movimento (...). Finalmente, os newtonianos, que têm grande aversão à matéria subtil, recorrem a outras causas materiais, sobretudo à atracção, à gravidade, e a outras (...). Da mesma maneira que no mundo se conserva sempre exactamente a mesma medida dos átomos, parece também conservar-se a medida do movimento (...). Existe portanto alguma massa enorme sempre em movimento, da qual sai e à qual regressa o movimento dos restantes corpos. Essa matéria, provavelmente, não é senão uma espécie de fluido imenso girando permanentemente em turbilhão, de ocidente para oriente, segundo a ordem de revolução dos céus. Que valor tem este raciocínio cartesiano, adiante discutiremos. Além do mais, é duvidosa a existência da matéria subtil, e são muito incertas várias outras coisas nesta exposição e dedução»⁵⁹.

«O newtoniano Pedro Muschembroek enumera várias causas particulares (...) para o movimento: a gravidade universal, por cuja acção se realizam quase todos os fenómenos no sistema do mundo; a virtude atractiva, força eléctrica e magnética, as quais, na opinião do autor, são

diferentes; a elasticidade; os próprios corpos, se em movimento; finalmente, o fogo terrestre e celeste. Estou disposto a admitir todas ou quase todas; mas não vou ao ponto de acreditar que Deus de princípio lhes deu o poder de moverem, sem ter estabelecido outra (realidade) mais geral, por cujo intermédio a gravidade dos corpos, a elasticidade e muitas outras coisas que geram o movimento, recebam as suas forças. Os cartesianos pretendem que esta causa geral dos movimentos é a matéria subtil; na opinião deles, é esta matéria subtil que, agitada a grande velocidade e posta em turbilhões, penetrando todos os corpos, causa a gravidade, a elasticidade e a força atractiva (...).

Se existe esta matéria subtil cartesiana; se forma turbilhões; se é ela a causa universal ou particular de todos os movimentos; se, finalmente, é por seu intermédio que se conserva a quantidade de movimento do mundo — eis outras tantas questões obscuríssimas, que são sobretudo hipóteses e não podem apoiar-se em nenhum argumento válido»⁶⁰.

No sistema de Descartes, em que $p = m|v|$, nunca um choque conduz à anulação da quantidade de movimento; daí o postulado da «matéria subtil», que transporta e redistribui os excedentes da quantidade de movimento. I. Monteiro não precisa desse postulado. Por outro lado, precisa dum suporte material para as acções de gravitação. Por isso — suponho — a sua hesitação. As suas reflexões prosseguem com um texto que já tive ocasião de citar:

«É em todo o caso certo que todos os corpos que se movem são impelidos por meio dum certo ímpeto, força ou impulso (...) comunicado pelo motor; que o recebem em si mesmos e o retêm enquanto se movem, até o transferirem para outros corpos com que choquem»⁶¹.

E insiste:

«Portanto, a única causa que diminui o movimento dos corpos (...) e finalmente os reduz ao repouso é a resistência dos meios, que o corpo tem de vencer para continuar o seu movimento»⁶².

«Um móvel qualquer, posto a uma velocidade qualquer, se encontrasse o espaço perfeitamente livre nunca pararia, mas teria um movimento perpétuo; por isso, a única causa da perda do movimento é a resistência, ou atrito, do meio em que se move»⁶³.

Veremos adiante os textos em que I. Monteiro rejeita a teoria da gravitação. O argumento é só um, acha-a contrária ao mapa ideal da realidade e do conhecimento proposto pelo séc. XVII, que lhe parece indiscutível. A transmissão do movimento só é possível através duma realidade material, e a realidade material são os corpos da nossa experiência.

É instrutivo verificar que a ideia da extensão cartesiana não chegou, por si só, para sugerir a noção de *campo*. A história mostra, de resto, que as ideias novas da física não vieram nunca da filosofia reinante; nasceram sempre a partir da problemática propriamente científica; só num segundo tempo se compreendeu que tinham um alcance filosófico. Os grandes físicos não recearam ser iconoclastas; I. Monteiro é um professor que defende a ortodoxia.

6. Resistência dos fluidos e atrito dos sólidos

A primeira parte da Lição XIII trata longamente da resistência que os fluidos opõem ao movimento dos sólidos neles imersos. Refere várias experiências. Mas, no fundo, é dos capítulos mais orientados no estilo da física teórica. Com a nossa perspectiva, é fácil dizer que I. Monteiro foi, muitas vezes, infeliz nas suas escolhas: como não acredita na gravitação, trata a queda dos graves por via experimental; no caso dos fluidos, supõe que pode confiar num modelo ingénuo, e atreve-se a deduzir.

Para ele, um fluido é um conjunto de partículas com massa, capazes portanto de trocar quantidades de movimento, mas isentas de qualquer outro tipo de interacção. Digamos, nos nossos termos, que tudo vai ser construído como se não existissem forças intermoleculares nem portanto viscosidade. Ao passar, o corpo imerso comunica às partículas que estão no seu caminho uma certa quantidade de movimento. E nada mais.

«A inércia e os efeitos da inércia são próprios, quer dos corpos sólidos, quer dos fluidos. Isto porque a razão é a mesma: a mesma indiferença ao movimento e ao repouso, e a resistência à variação do estado de movimento (...). Os fluidos manifestam sobretudo a sua inércia ao retardarem e finalmente anularem o movimento dos sólidos neles mergulhados: produzem isto pela sua inércia, como havemos de demonstrar»⁶⁴.

Para além da ingenuidade do modelo, os raciocínios são simplistas.

Como a resistência é uma perda de quantidade de movimento, por transferência para as partículas do fluido, conclui que a resistência é directamente proporcional à densidade do fluido; como confirmação, aponta experiências qualitativas.

Convida o leitor a meter a mão na água e a verificar que a resistências cresce com a velocidade. Depois, teoriza: se a velocidade passar para o dobro, há o dobro de partículas contactadas no mesmo tempo; essas partículas são levadas ao dobro da velocidade. Daí conclui que a resistência é proporcional ao quadrado da velocidade.

Dá argumentos do mesmo género para provar que a resistência é proporcional à raiz quadrada da área, logo proporcional à dimensão lateral.

Enfim, verifica que, dados dois sólidos de igual forma e volume, imersos no mesmo fluido, tendo em dado instante a mesma velocidade, o de maior massa demora mais tempo a parar. E conclui que o «retardamento» é inversamente proporcional à densidade do sólido. E resume:

«Dado que cada um destes aspectos é diferente, mas se conjugam, os retardamentos dos móveis variam na razão directa do quadrado das velocidades, na razão directa das densidades dos fluidos, na razão inversa dos diâmetros e, finalmente, na razão inversa das densidades dos próprios móveis»⁶⁵.

A segunda parte da Lição XIII trata do atrito sólido-sólido. Distingue o atrito de escorregamento do atrito de rolamento. Considera nomeadamente o caso do atrito nas engrenagens.

«Para estimar as resistências do atrito de escorregamento, há que atender à pressão entre as superfícies, à velocidade, à grandeza da superfície de contacto e à asperidade da superfície (...). É de notar que o aumento da velocidade, até certo limite, aumenta o atrito mas se continuar a crescer, diminui-o»⁶⁶.

Como se vê, continua a ser grande o peso da dedução. No entanto, são citados manuais que afirmam apoiar-se em experiências.

7. A teoria dos choques

Após os desenvolvimentos introduzidos a propósito da resistência dos fluidos, I. Monteiro considera, na Lição XVI, o «movimento refractado», isto é, a passagem de um móvel de um meio resistente para outro meio resistente. Nas Lições XVII e XVIII tenta explicar o carácter «duro», «mole» ou «elástico» dum corpo a partir de hipotéticas propriedades estruturais. A Lição XIX, «sobre a reflexão do movimento» estuda o choque com uma parede fixa; a Lição XXI faz a teoria das colisões entre dois corpos «elásticos». Com esta Lição termina o Tomo II da obra.

Como já tive ocasião de referir, a teoria dos choques estava feita desde o séc. XVII por Wallis, Wren, Huyghens e Mariotte. Os corpos são divididos em sólidos e fluidos, e os primeiros em *duros*, *moles* e *elásticos*. Os corpos duros seriam perfeitamente indeformáveis, os corpos moles receberiam passivamente deformações permanentes, os corpos elásticos, uma vez deformados por uma força, tenderiam a regressar ou restituir-se à configuração inicial exercendo uma «força de restituição». Os autores têm consciência de que se trata de idealizações, mais ou menos verificadas pelos corpos da natureza.

Baseando-se em considerações que hoje nos parecem ociosas, afirmaram que os corpos duros e os corpos moles permanecem unidos após um choque. Servindo-se da ideia da conservação da quantidade de movimento encontram então as leis do choque que hoje designamos por *completamente inelástico*.

Hoje, chamamos *choque elástico* àquele em que se conserva a energia cinética. É sabido que, no séc. XVII, esta noção não está ainda suficientemente clarificada. Os autores falam de «choque entre corpos elásticos» e tratam-no com base na ideia de que há uma restituição integral. Seja, por exemplo, o choque entre duas partículas da mesma massa e com velocidades opostas, portanto com o mesmo módulo $|v|$. Parece óbvio que, havendo uma restituição integral, as partículas terão após o choque velocidades opostas, com o mesmo módulo $|v|$.

Neste assunto dos choques, o texto de I. Monteiro é em geral de boa qualidade. Ao contrário do que sucedia com as pretensas leis do movimento nos fluidos, dá-nos agora uma boa física: está a par dos resultados experimentais, e procura leis teóricas que se insiram no quadro geral e forneçam explicação para os factos.

«Há muitas espécies de percussões, e seguem diferentes leis: umas para os corpos elásticos, outras para os corpos duros, e moles. Assim ensina a experiência, e o confirma a razão»⁶⁷.

A teoria dos choques entre corpos «duros», apresentada na Lição XX, coincide nos resultados com a actual teoria dos choques completamente inelásticos.

A teoria dos choques entre dois corpos perfeitamente elásticos, na Lição XXI, conduz igualmente a resultados correctos; mas é apresentada de maneira que hoje nos parece algo bizarra.

Seja o choque entre duas partículas quaisquer A e B. Suponhamos que as quantidades de movimento são antes do choque \vec{p}_A e \vec{p}_B e depois do choque $\vec{p}'_A = \vec{p}_A + \Delta \vec{p}_A$ e $\vec{p}'_B = \vec{p}_B + \Delta \vec{p}_B$. O choque pode ter sido: ou elástico (e), ou completamente inelástico (i), ou numa qualquer modalidade intermédia. Como se sabe, em qualquer caso $\Delta \vec{p}_A = -\Delta \vec{p}_B$. Por outro lado, com os meios de que hoje dispomos é muito fácil provar que

$$\Delta \vec{p}_A^{(e)} = 2 \Delta \vec{p}_A^{(i)}$$

O caminho de I. Monteiro consiste em considerar que, num choque elástico, se sobrepõem dois fenómenos: primeiro um choque «duro» (em que, diríamos hoje, há transformação de energia cinética em energia elástica); depois, uma restituição (em que, diríamos hoje, essa energia acumulada sob forma de energia elástica volta a passar a energia cinética; *note-se porém que I. Monteiro ignora totalmente a noção de energia*).

«Nos choques dos corpos elásticos, o movimento e o ímpeto comunicam-se por duas razões: instantaneamente, e no tempo. A primeira, logo ao contacto dos corpos, antes de toda a acção elástica; a segunda em razão da elasticidade. Quando, por exemplo, A choca com B, no primeiro contacto comunica-lhe o movimento e o ímpeto como se fosse duro; a este movimento e ímpeto chamaremos *primitivo*. Depois, os dois corpos em contacto comprimem-se e, a seguir, voltam ao estado inicial (...). A esta segunda fase chama-se *repercussão*. As regras que adiante propomos são confirmadas por inúmeras experiências (...).»⁶⁸.

Dir-se-á que eu solicitei o texto. Na letra de I. Monteiro, a fronteira entre as fases é o início da compressão, e não o instante de compressão

máxima. Isso é um pormenor sem importância. O que é criticável é a própria noção de objecto «duro», incapaz de sofrer deformações.

Agora, I. Monteiro vai invocar a propriedade que acima referi:

«Um corpo perfeitamente elástico A, que choque com outro corpo perfeitamente elástico B em repouso, perde no choque o dobro do ímpeto que perderia se ambos fossem perfeitamente duros. O corpo B em repouso adquire o dobro do ímpeto que adquiriria se ambos fossem perfeitamente duros»⁶⁹.

I. Monteiro procura provar esta tese no caso em que as massas são iguais (a meu ver, a demonstração devia ser mais elaborada). Depois, admite que ela é válida em geral. Daí, e das leis dos choques «duros», já encontradas, pode deduzir as leis a que obedecem os choques elásticos. Com uma restrição: apenas estuda choque a uma dimensão, em que todas as velocidades são colineares.

Responde a seguir à objecção: quando se joga o bilhar, observa-se às vezes que a bola A bate na bola B parada e seguem ambas na mesma direcção. Responde, correctamente, que tal não sucederia se a bola A tivesse apenas movimento de translação; isso pode acontecer apenas se a bola A tiver, além da translação, ainda movimento de rotação⁷⁰.

Mais adiante, explica a razão pela qual, estando várias bolas de marfim B...H em repouso, encostadas umas às outras e alinhadas, e sobrevindo uma bola igual A na mesma direcção com a velocidade v, sucede que A estaca junto de B, as bolas B...G ficam em repouso e a bola H parte na mesma direcção com a velocidade v⁷¹.



8. A querela das forças vivas

As forças vivas são o objecto da Lição I do Tomo III da *Philosophia Libera*. A discussão prolonga-se por 39 páginas. A sua leitura pouco ou nada esclarece sobre o assunto, mas diz bastante sobre as concepções de I. Monteiro.

Como se sabe, os discípulos de Descartes pretendiam que a «verdadeira medida» do movimento é dada pela *quantidade de movimento*,

$\vec{p} = m\vec{v}$, os discípulos de Leibniz afirmavam que se devia considerar a *força viva* $m v^2$. (Alguns autores, como I. Monteiro, estariam dispostos a dar o nome de «força viva» àquela grandeza que fosse fundamental). Em 1743, no *Traité de Dynamique*, d'Alembert mostra que o efeito temporal duma força, mais precisamente o integral $\int \vec{F} dt$, é igual à variação da quantidade de movimento; e que o seu efeito espacial, mais precisamente o integral $\int \vec{F} \cdot d\vec{r}$, é igual à variação de metade da força viva, isto é, à variação da energia cinética $T = \frac{1}{2} m v^2$. Correlativamente, dado um corpo em movimento, os efeitos que pode provocar dependem de uma ou outra destas grandezas: para responder à pergunta «que força se deve opor ao corpo para ele parar em t segundos?» é preciso conhecer a sua quantidade de movimento; para responder à pergunta «que força se deve opor ao corpo para ele parar em x metros?» é preciso conhecer a sua energia cinética.

Com a resposta de d'Alembert devia começar a compreender-se que é sem sentido procurar «a verdadeira medida do movimento». Os conceitos da ciência não estão para os conceitos da vida quotidiana como o claro e distinto para o obscuro e confuso: são novas criações. Era igualmente vão procurar explicações intuitivas ou então metafísicas para que o expoente de v, na dita medida, fosse 1 ou fosse 2. A teoria da relatividade deu um golpe de misericórdia nestas congeminações mostrando que a energia cinética se deve escrever, não $T = \frac{1}{2} m v^2$, mas sim $T = m c^2 - m_0 c^2 = \frac{1}{2} m_0 v^2 + \frac{3}{8} m_0 \frac{v^4}{c^2} + \dots$

I. Monteiro vai ao ponto de admitir que com uma e outra noção se tenham feito cálculos correctos e que esses cálculos descrevam certos aspectos dos fenómenos. Mas continua a pensar que uma das duas grandezas em causa é a mais importante (é essa que, para ele, deverá chamar-se «força viva»). Sobretudo, continua a acreditar que a física acompanha as articulações da filosofia da natureza (no caso, o mecanicismo tal como Descartes o propusera).

«Os cálculos e as experiências que um e outro grupo apresentam são verdadeiros e conformes às observações; em todo o caso, ou me engano muito, ou a maior parte dessas experiências não têm que ver com este assunto (...)»⁷².

«É por todos entendido como axioma que a causa é proporcional e igual ao seu efeito íntegro, na medida em que o efeito é realizado pela causa. Há no entanto uma diferença entre as opiniões: na antiga opinião, na medida do efeito tem-se sempre em conta o tempo no qual ele é realizado, de modo que as causas se julgam através dos efeitos produzidos no mesmo tempo; na nova opinião, não se atende ao tempo, como adiante se explicará»⁷³.

«Por força viva entendo aquela força, energia, eficácia e ímpeto residente no corpo em movimento, por benefício da qual o corpo se move»⁷⁴.

«O produto da velocidade pela massa é a medida das forças vivas, e portanto as forças dum dado corpo crescem ou diminuem na proporção em que cresce ou diminui a sua velocidade»⁷⁵.

I. Monteiro mantém a «opinião antiga». Sobretudo, creio que não apanha o fundo da questão. Isto, apesar de referir d'Alembert. Ainda chega a dizer, como vimos, que a diferença entre as opiniões tem algo que ver com cálculos feitos ou não sobre o tempo; mas a discussão que segue é mais pobre do que poderia supor-se.

Se é lícito explicar atitudes, direi que I. Monteiro estava mal colocado para enfrentar a questão. Para ele, a dinâmica reduz-se ao estudo dos choques, e os choques são estudados, antes de mais, através da quantidade de movimento. (Como acabámos de ver, I. Monteiro estuda os próprios choques elásticos por manipulações desta grandeza). É com gosto que Monteiro acentua que, em todos os choques, a quantidade de movimento se conserva. Pelo contrário, a grandeza $T = \frac{1}{2} m v^2$ (ou a *força viva* de Leibniz $m v^2$) não lhe presta qualquer serviço. Sublinha que ela não é conservada nem nos choques duros nem nos choques moles⁷⁶. (Omite reconhecer que se conserva nos choques elásticos). Não tendo chegado a compreender a importância da força \vec{F} no sentido newtoniano, muito menos é levado a interessar-se pelos integrais $\int \vec{F} dt$ e $\int \vec{F} \cdot d\vec{r}$.

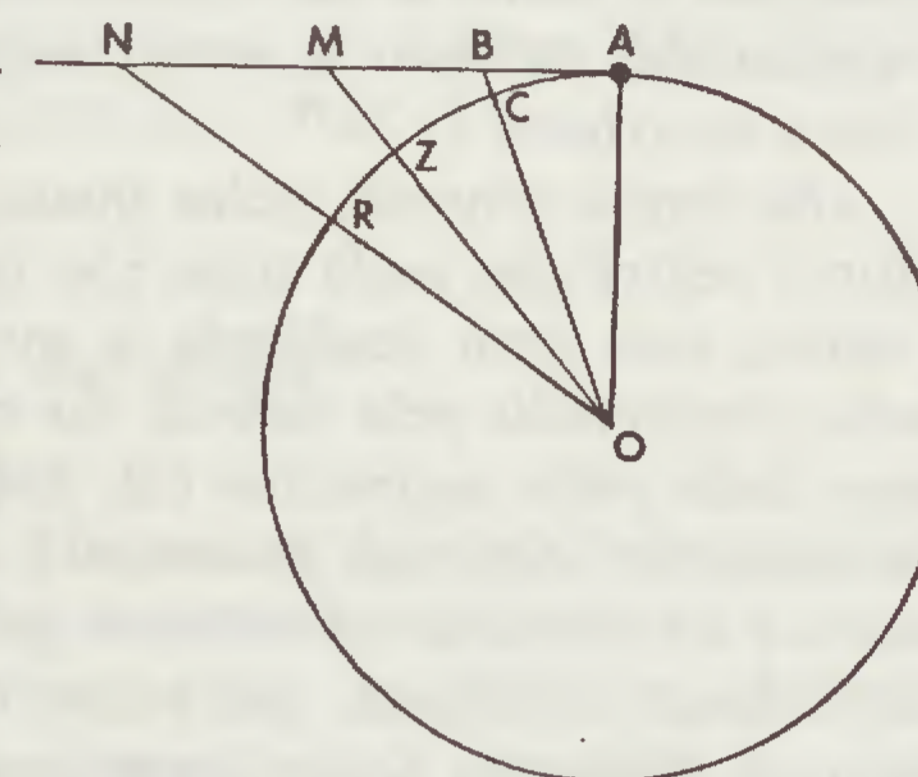
9. A força centrífuga

A Lição II do Tomo III trata «das forças centrais, nomeadamente da força centrípeta e da força centrífuga».

I. Monteiro sabe que um movimento curvilíneo não pode ser inercial. Seja, por exemplo, uma pedra que descreve, numa funda, um movimento circular uniforme com centro em O. A cada instante a pedra tem uma quantidade de movimento que se escreve (na nossa notação) $\vec{p} = m \omega r \vec{u}_\phi = m v \vec{u}_\phi$. A cada instante esta quantidade de movimento sofre uma variação em direcção ao centro. No intervalo de tempo dt que sucede a t , tem-se a variação $d\vec{p} = -m \omega^2 r dt \vec{u}_r = -m \frac{v^2}{r} dt \vec{u}_r$.

Vimos já que I. Monteiro chama «forças» e «quantidade de movimento» quer a \vec{p} , quer a $\Delta \vec{p}$ (e portanto a $d\vec{p}$). Não é pois muito estranho que ele considere que há duas «forças», uma segundo a tangente (que é o nosso \vec{p}), outra dirigida para o centro (que é o nosso $d\vec{p}$). A terminologia (que não a doutrina) parece um pouco inconstante: tenho a impressão de que, umas vezes, Monteiro chama *força centrífuga* a \vec{p} , não ocultando que tem a direcção tangencial; e que, outras vezes, dá esse anome a $-\Delta \vec{p}$, directamente oposto à força centrípeta.

«Uma pedra numa funda é retida pela mão de modo que descreve uma circunferência; se for largada, será projectada segundo a recta tangente à circunferência, e fugirá da mão e portanto do centro da circunferência; e, enquanto é retida pela mão, sempre tenta afastar-se do centro, puxando pela mão e distendendo o fio. São necessárias na mão forças (vires) físicas para reter a pedra que tenta constantemente afastar-se. Em qualquer corpo numa funda, ou obrigado a outra curva qualquer, encontram-se pelo menos duas tendências (nisus), uma pela qual o corpo é trazido para o centro, outra que levaria o corpo a seguir pela tangente (...). A primeira é chamada *centrípeta*, porque sempre



e em todo o lugar puxa o corpo para o centro; a segunda *centrífuga*, porque afasta o móvel constantemente do centro. Por isso essas forças são contrárias, pois a primeira move, ou tende a mover, o corpo para o centro e a segunda para fora do centro. Embora a força centrífuga não afaste o móvel A do centro directamente segundo o raio OA, mas o encaminhe segundo a recta tangente AB, em todo o caso opõe-se à força centrípeta (...)»⁷⁷.

«As forças centrais, pelas quais a órbita é percorrida, e sobretudo a força centrífuga, nada mais são do que o ímpeto do corpo obrigado à curva, mas com tendência a mover-se sempre segundo uma linha recta, conservado pela inércia do corpo (...). Uma como que medida é-nos dada pelos segmentos CB, ZM, RN compreendidos entre a curva e a tangente: eles nos mostram (...) quanto o corpo se afastaria do centro e da curva se só estivesse presente a força centrífuga, e quanto vale a força centrípeta, que retém o corpo de modo a que ele se não afaste as distâncias desses segmentos. Numa palavra, enquanto o corpo se move na órbita circular tenta sempre afastar-se do centro, e é sempre puxado para o centro. A tendência e a força de afastamento do centro pela qual o corpo tende a arrastar a mão que o mantém, exprime-se por CB, ZM, etc. (...) Logo, pelos mesmos segmentos CB, ZM, etc., se exprime a força centrípeta (...)»⁷⁸.

Precisando o seu pensamento, I. Monteiro diz que, no movimento circular, a força centrípeta e a força centrífuga são iguais; mas que, «nas outras curvas, às vezes uma delas supera a outra, de modo que o corpo se aproxima do centro quando a força centrípeta é maior que a força centrífuga, e se afasta do centro quando a força centrífuga prevalece»⁷⁹. Esta posição, inaceitável, é para ser aproximada daquela que I. Monteiro tomou a propósito da acção e reacção. É, de resto, um problema do mesmo tipo.

Voltemos ao movimento circular uniforme. Monteiro vai agora provar três teoremas muito importantes:

«As forças centrífugas de dois corpos com a mesma velocidade e à mesma distância do centro estão entre si na razão directa das suas massas»⁸⁰.

«As forças centrífugas de dois corpos com a mesma massa movendo-se em movimentos circulares com o mesmo período estão entre si na razão directa dos raios»⁸¹.

«As forças centrífugas de dois corpos com a mesma massa e à mesma distância do centro estão entre si na razão directa dos quadrados das velocidades»⁸².

A primeira tese é provada a partir da afirmação de que a quantidade de movimento é proporcional à massa, as outras duas são provadas a partir de raciocínios geométricos.

10. Gravidade, gravitação e queda dos graves

As lições III a VIII do Tomo III tratam da gravidade, da gravitação universal e dos movimentos no campo da gravidade.

O ponto de partida é apresentado como um facto experimental: Os corpos, em queda livre e sendo desprezáveis a impulsão e a resistência do meio, caem com movimento uniformemente acelerado. Em cada ponto da Terra, a aceleração é a mesma para todos os corpos. É um facto que varia com a latitude do lugar e, verosimilmente, na razão inversa do quadrado da distância ao centro da Terra. O valor desta aceleração será dito mais adiante, é aqui de 30 pés e 2 dedos por segundo quadrado⁸³.

I. Monteiro sabe, evidentemente, que os newtonianos consideram que a gravidade é um caso particular da gravitação universal. Só que ele, I. Monteiro, tem demasiadas objecções a respeito da gravitação. São sobretudo objecções filosóficas; mas chegam para envenenar a confiança em tal lei.

«A atracção no sentido já exposto, a saber, uma força residente no corpo que atrai e distinta de todo o impulso material e de todas as causas mecânicas, não existe na natureza.

Não podem sentir de outra maneira todos aqueles que quiseram eliminar da filosofia as qualidades ocultas e as forças não mecânicas. Naquela opinião, dois corpos quaisquer, por ex. a Terra e a Lua ou uma estrela, separados por um imenso espaço vazio e sem que entre eles medeie corpo algum, agiriam um sobre o outro e mover-se-iam. Isto é aquela *acção a distância sem meio intermediário* que não pode explicar-se nem entender-se fisicamente e fez o deleite de filosofia antiga»⁸⁴.

Como vimos, I. Monteiro aceita que, num movimento curvo como é o dos planetas, tem de haver uma força centrípeta. Mas rejeita este tipo de explicação:

«Aceitamos todos os efeitos e fenómenos físicos que esses autores deduzem das forças atractivas; aí, não há qualquer oposição entre nós e eles. Mas, quanto à causa desses efeitos,

— ou essa causa é suposta como existente fisicamente nas coisas e distinta do impulso de qualquer matéria (como é aceite pelos newtonianos),

— ou é apenas considerada como hipótese matemática, que nada põe que seja distinto das causas materiais.

No 1.º sentido, rejeitamos totalmente a atracção. Não admitimos no sistema das coisas materiais e dos fenómenos algo que não seja material e mecânico.

No 2.º sentido, aceitamos as forças atractivas, nem julgamos que alguém as possa negar. Quer dizer: negamos a atracção do físico, aprovamos a do matemático»⁸⁵.

Vê-se que I. Monteiro é muito influenciado pela filosofia da natureza de Descartes. Acredita que há forças, mas pensa que elas têm de ser transmitidas por qualquer mecanismo de partículas. Por outro lado, a teoria dos turbilhões de Descartes parece-lhe sem base e sem utilidade. Nesta situação de carência, sente-se pouco tentado a confiar nos próprios aspectos quantitativos da lei da gravitação.

Voltando à gravidade sem teoria subjacente, afirma que, em cada lugar, os pesos são proporcionais às massas e assim independentes do estado de agregação, temperatura, etc.⁸⁶

Faz de seguida um estudo bastante completo e correcto dos movimentos no campo da gravidade: queda livre; movimentos na vertical havendo impulsão e resistência não desprezáveis; velocidade limite de queda; movimento geral dos projecteis no vácuo, e correcções qualitativas para o ar; plano inclinado; descida por superfícies não planas; apresentação do problema da braquistócrona e indicação da solução⁸⁷. Finalmente, trata do pêndulo; mas, desta vez, o tratamento é superficial. Afirma, em todo o caso, que o período das pequenas oscilações é directamente proporcional à raiz quadrada do comprimento do pêndulo e descreve o pêndulo cicloidal de Huyghens⁸⁸.

11. Estática, hidrostática e hidráulica

A segunda metade do Tomo III trata de centros de gravidade e equilíbrio (Lições IX e X), máquinas simples (Lição XI) e hidrostática (Lições XII a XIV). Em duas Lições suplementares são apresentados rudimentos de hidráulica.

Limito-me a referir que, na Lição X, Monteiro propõe como «princípio primeiro e universal» da mecânica, isto é, da teoria dos maquinismos, o *princípio dos trabalhos virtuais*, mas na sua forma mais antiga, a das velocidades virtuais⁸⁹.

12. O Tomo IV

O Tomo IV trata de «astronomia física». É na realidade uma descrição do Universo, mais propriamente do Sistema Solar, tal como podia ser conhecido no séc. XVIII. Das 18 Lições, apenas a penúltima é consagrada ao «sistema físico-astronómico newtoniano, a respeito dos movimentos dos corpos celestes, suas causas e leis».

Esta Lição tem qualquer coisa de paradoxal. I. Monteiro começa por expor de maneira muito correcta e sugestiva o sistema newtoniano, dando as razões que o justificam ainda hoje aos nossos olhos; concede nomeadamente que as previsões do sistema são correctas; finalmente, opõe-lhe uma quase-recusa, em nome dos seus preconceitos filosóficos (o mecanicismo cartesiano).

«Os físicos recentes estão de acordo com Descartes e Newton (...) em quererem explicar e deduzir os movimentos dos corpos celestes unicamente a partir das leis mecânicas da natureza e outras causas naturais: Descartes com base no *cheio* e no *impulso*, Newton com base no *vazio* e na *atracção*»⁹⁰.

«Dado que o *cheio* impede os movimentos celestes, que parecem fazer-se sem resistência, (Newton) afirmou que os espaços do universo estão vazios. Isto parece necessário para que os planetas se desloquem livremente sem resistência. Trata-se, pois, de movimentos que foram uma vez impressos, e depois sempre se conservam»⁹¹.

Ora Kepler estabeleceu leis quantitativas — fundadas sobre a observação — para o movimento dos planetas. E Newton mostrou que as leis de Kepler se deduzem dos princípios que postulou.

Em notas ao texto, I. Monteiro esboça todas estas demonstrações:

a) A Lua «cai para a Terra» como se estivesse sujeita a uma gravidade 60^2 vezes inferior àquela que nós sentimos. Ora a Lua está a 60 raios terrestres do centro da Terra. Logo, a queda dos graves e o movimento da Lua admitem uma explicação comum: a gravitação newtoniana, que varia na razão inversa do quadrado da distância. I. Monteiro refere ainda que a gravitação é uma «atração mútua de todos os corpos» e que «as forças atractivas dos corpos, por exemplo dos planetas são proporcionais às suas massas»⁹².

b) O que se diz da Lua em relação à Terra, diz-se dos planetas em relação ao Sol. A força centrípeta no caso de o movimento obedecer às leis de Kepler é uma atracção inversamente proporcional ao quadrado da distância. I. Monteiro acrescenta uma precisão: realmente, os planetas e o Sol giram em torno do seu centro de gravidade. Simplesmente é fácil verificar que o erro que se comete quando se identifica este centro de gravidade com o centro do Sol é de pouca importância⁹³.

c) Da lei da gravitação deduz-se muito facilmente a lei das áreas (1.ª lei de Kepler) e a que relaciona os tempos de revolução com os raios das órbitas (3.ª lei de Kepler, cálculo feito para órbitas circulares). Com um pouco mais de matemática se provaria que, sob a lei da gravitação, as trajectórias dos planetas só podem ser uma cónica: circunferência, elipse, parábola ou hipérbole⁹⁴.

d) Enfim de acordo com a teoria da gravitação, os planetas perturbam-se mutuamente: isso justifica que seja necessário corrigir as leis de Kepler. O mesmo se passa quanto às anomalias no movimento da Lua⁹⁵.

«A doutrina exposta tem a seu favor a simplicidade e a boa estrutura matemática, ao passo que a doutrina cartesiana se recomenda pelo seu carácter acessível e pelo seu mecanicismo (...). Em minha opinião, há que distinguir: ou se considera o sistema como uma hipótese para a efectivação dos cálculos astronómicos, ou como uma realidade física

existente fisicamente na natureza, ou como um sistema puramente matemático (...) com pouca relação com a realidade física das forças»⁹⁶.

Se se toma a primeira atitude, diz I. Monteiro, o mérito do sistema newtoniano é indiscutível. Não há qualquer dúvida de que constitui um progresso sobre a teoria dos epiciclos. Só é bom que se não volte a cair no erro de o supor irreformável: por isso é muito conveniente que se continue a melhorar os métodos de observação.

A respeito da segunda atitude, é muito negativo. Acha que a crítica à teoria dos turbilhões de Descartes não é concludente; remete para o Tomo III onde provou que «a atracção propriamente dita e universal não existe na realidade» e que é evidente que os corpos só se podem mover por acções de contacto; afirma que os princípios de Newton são gratuitos.

Esta última crítica, que hoje nos parece algo bizarra, tinha certamente algum peso numa época em que se acreditava numa «ciência positiva», estruturada sobre «noções evidentes» e sobre leis «obtidas por indução». (Infelizmente, não estou certo de que o homem da rua e certos filósofos de profissão tenham já abandonado este figurino).

Quanto à terceira atitude, I. Monteiro entende que um sistema puramente matemático perverte a discussão da realidade física. Acha que é perigoso postular a existência de leis físicas unicamente a partir da verificação de certas regularidades matemáticas⁹⁷.

«O argumento deduzido a partir do movimento de Lua para provar a gravitação universal sem meio que a transmita e variando na razão inversa do quadrado da distância é muito obscuro e duvidoso: não prova a existência de uma força física no centro, isto é, no Sol, portanto uma atracção propriamente dita: apenas prova uma força por assim dizer matemática; é uma maneira de argumentar a partir da resolução de sistemas de forças»⁹⁸.

Finalmente, apresenta como objecções alguns resultados que pensa poder deduzir dos princípios de Newton e são contrários aos factos. Trata-se de questões difíceis (por exemplo, uma análise qualitativa do problema dos 3 corpos) e, simplesmente, não tem razão⁹⁹.

«Se me perguntarem qual é finalmente a minha opinião a respeito dos dois sistemas (de Descartes e de Newton), e qual é a causa física dos movimentos celestes, direi: *Primeiro*, nenhum dos sistemas está

demonstrado, nem matemática, nem fisicamente. *Segundo*, um e outro se alimentam de hipóteses que não podem provar-se por argumento algum. *Terceiro*, um e outro recebe, ou estabelece, várias teses físicas que são muitíssimo duvidosas. *Quarto*, são capazes de expor com clareza e de deduzir com elegância a partir de princípios supostos. Mas há muitas coisas que contrariam os princípios, não recebem explicação satisfatória, não são compreensíveis. *Quinto*, ambos encontram as leis de Kepler (...). *Sexto*, o sistema dos turbilhões é mais agradável, físico e sensível, apenas supõe, admite e utiliza causas mecânicas; o das atracções é mais matemático, tem a coerência da matemática, mas também a aridez; expõe e demonstra com simplicidade matemática muito mais fenómenos celestes do que a teoria dos princípios mecânicos com turbilhões. Por isso, se está em causa a sua verdade absoluta e existência, não proponho nenhum dos sistemas como tese. Como hipótese, nada obsta a que se aceite o sistema dos turbilhões de Descartes, que tem já vários aperfeiçoamentos (...); isto porque prefiro o sistema do *Cheio* e não admito uma atracção universal *não mecânica* distinta do choque (impulso). Mas mantenha-se o que ficou dito do sistema newtoniano: apenas como hipótese, e procedendo de maneira mais matemática do que física, permite deduzir dos princípios da atracção os movimentos e fenómenos celestes»¹⁰⁰.

VI - NOTAS DE REVISÃO

A mecânica de Newton tardou em impor-se à Europa Continental, em grande parte devido ao peso da tradição cartesiana. Inácio Monteiro é exemplo desta atitude. Sublinhe-se que a tomou sempre sem facciosismos, mas numa crítica inteligente e honesta.

Como tive ocasião de notar, Monteiro é um contestatário do dogmatismo escolástico e um apaixonado pelos ideais humanísticos e políticos do iluminismo. Encontrou o seu caminho na leitura de Descartes e, sem lhe seguir a letra, ficou muito preso ao seu método. Intelectualmente, é muito um homem do séc. XVII.

Na linha de Descartes, pensa que o real é acessível ao entendimento e susceptível de ser dito num discurso claro. É menos ingénua do que ele na aceitação dos princípios e na convicção de que toda a verdade

depende desses princípios. Sobretudo, tem a lucidez suficiente para compreender que a física de Descartes é, senão falsa, ao menos arbitrária.

Definindo-se como eclético, não se sente obrigado a explicitar uma filosofia, nem sequer uma epistemologia. Em todo o caso, sem ser um experimentalista, dá à experiência um lugar importante. Parece acreditar que a experiência é capaz de impor certos enunciados, por exemplo que os graves caem no vácuo com movimento uniformemente acelerado, ou que a transmissão do movimento só se faz por contacto. É sabido que, hoje, nós só acreditamos em princípios básicos experimentais se deles se deduzirem muitas consequências que sejam corroboradas pela experiência¹⁰¹; dito de outra maneira, para nós os princípios têm o estatuto de hipóteses. No séc. XVIII, os newtonianos não clarificaram este ponto, porque eles próprios estavam presos dum epistemologia mais conservadora. I. Monteiro rejeita frontalmente a ideia dum ciência construída sobre hipóteses. São portanto duas as razões que o opõem à teoria newtoniana da gravitação: o não assentar sobre bases inabaláveis (crítica epistemológica) e o não respeitar a transmissão por contacto (crítica ontológica). Isto mostra que o séc. XVII só veio substituir um dogmatismo por outro dogmatismo. Somos feitos desta maneira, só nos incomoda o dogmasismo dos outros ...

I. Monteiro compreendeu, com Descartes e Newton, que a matemática é um instrumento muito poderoso nas mãos do físico. Como vimos, acaba por rejeitar a teoria da gravitação de Newton. Mas tem a honestidade de a estudar. Esse estudo leva-o a reconhecer que dela se deduzem, quer as leis de Kepler, quer as leis da queda dos graves, quer as anomalias do movimento dos planetas e da Lua.

O que é verdadeiramente estranho é a sua recusa em referir a lei fundamental da dinâmica $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m\vec{a}$. Parece incrível que a não conheça ou a não tenha entendido. Portanto, ou discorda, ou — o que me parece mais provável — não lhe vê o interesse. Como sugeri, isso pode dever-se ao facto de que a sua dinâmica tem como único objecto o estudo dos choques, atitude que resulta, por sua vez, da ideia de que qualquer transmissão de movimento só é possível por contacto. Em todo o caso é ainda estranho que não se tenha apercebido de que a equação $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ é essencial para estabelecer a ligação entre a força entendida como variação da quantidade de movimento e a força enten-

dida como atracção gravitacional, atracção ou repulsão eléctrica ou magnética, força elástica, etc. É verdade que, de Carnot a Hertz, passando por Saint-Venant e Mach, existe uma escola importante que se propõe eliminar o conceito de força. Só que é diferente fazer isto por cima das posições de Newton ou sem ter chegado a aceitá-lo.

Julgo que a posição de I. Monteiro a respeito do princípio da igualdade da acção e da reacção não admite interpretação benigna. Mais grave do que isso, julgo que enfrenta mal problemas dinâmicos relativamente simples, como o do cavalo que puxa a pedra.

Em muitíssimos outros pontos a sua posição é, como vimos, correcta. Além dos pontos que apresentei, é correcta a sua posição em estática e hidrostática, faz uma boa descrição qualitativa do magnetismo dos ímans e da fenómeno das marés¹⁰². Como a propósito das leis de Kepler, reconhece que a explicação mais simples para as marés é a de Newton, embora tenha dificuldade em aceitá-la.

Enfim, parece-me justo reconhecer que Inácio Monteiro representa um dos valores mais altos da cultura portuguesa do séc. XVIII. Embora tenha publicado a maior parte da sua obra em Itália — para onde tinha sido expulso —, foi em Portugal que a pensou; e as numerosas reimpressões dos seus livros, nomeadamente da *Philosophia Libera* espalharam as suas ideias pela Europa e nomeadamente nesta terra onde nascera. Na longa e triste disputa entre Antigos e Modernos¹⁰³, a sua contribuição é da maior relevância.

NOTAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ Limite-me aqui a respigar elementos de três excelentes artigos publicados na «Revista Portuguesa de Filosofia», Tomo XXIX, Fasc. 3, de Julho-Setembro de 1973:

Lúcio Craveiro da Silva, *Inácio Monteiro. Significado da sua vida e da sua obra*, pp. 229-266.

António Martins, *Para uma análise da filosofia de Inácio Monteiro*, pp. 267-288.

António Alberto de Andrade, *Inácio Monteiro e a evolução dos estudos nas aulas dos Jesuítas de Setecentos*, pp. 289-304.

No mesmo Fascículo se incluem dois textos importantes de Inácio Monteiro, publicados em latim e traduzidos pelo P. António Freire:

Carta à Juventude Portuguesa, pp. 305-317.

Prólogo à «*Philosophia Libera*», pp. 318-322.

² [Raimundus Diosdado Caballero], *Gloria Posthuma Societatis Iesu*, apud Franciscum Bourlié, Romæ, 1814, p. 36, citado e traduzido no artigo de L. Craveiro da Silva, p. 265.

³ Servir-me-ei das siglas «P.L., I», «P.L., II», etc., para citar os vários Tomos da 2.ª edição desta obra.

⁴ P.L., II, Prefácio ao Leitor, pp. 5-6. Sirvo-me da tradução do P. António Freire, *ob. cit.*, p. 319.

⁵ Inácio Monteiro e Kant nasceram no mesmo ano de 1724. A filosofia crítica de Kant começa a despontar com a *Dissertação* de 1770 e atinge a maturidade com a *Crítica da Razão Pura*, cuja 1.ª edição é de 1781. Têm então 57 anos. Kant acaba de encontrar o seu caminho, I. Monteiro há muito está estabilizado.

Não se pode pois censurar I. Monteiro por não citar Kant. Quando publica a 2.ª edição das suas obras mais importantes, Kant ainda quase não deu que falar. É menos explicável a falta de interesse por Berkeley.

⁶ Ver, por exemplo, René Dugas, *Histoire de la Mécanique*, Neuchâtel, Le Griffon, 1950 e *La Mécanique au XVII^e siècle*, Neuchâtel, Le Griffon, 1954.

⁷ Ver em J. Pereira Gomes, *A cultura científica de Inácio Monteiro*, «Brotéria», Vol. XLIII, 1946, pp. 268-287, um resumo do conteúdo e da orientação desta obra.

⁸ *Compendio dos Elementos de Mathematica*, Prólogo ao Leitor, pp. 4-5. Citado por L. Craveiro da Silva, *ob. cit.*, p. 232.

⁹ P.L., II, pp. 7-9. Tradução: P. António Freire, *ob. cit.*, pp. 320-321.

¹⁰ P.L., I, pp. 100-101.

¹¹ P.L., I, p. XXVIII.

¹² P.L., I, p. XXX.

¹³ Uma excepção é a penúltima Lição do Tomo IV, em que se mostra que as leis de Kepler se podem deduzir dos princípios de Newton.

¹⁴ P.L., I, pp. XX-XXI.

¹⁵ Cf. R. Dugas, *La Mécanique au XVII^e siècle*, p. 117.

- 16 P.L., II, p. 264, § 395.
- 17 A partir do final do séc. XVIII, alguns autores mostraram que se pode eliminar o conceito de força da estrutura fundamental da dinâmica. Penso que o trabalho de I. Monteiro não se situa a esse nível, que é o de uma reflexão crítica sobre a mecânica de Newton.
- 18 P.L., III, p. 5.
- 19 Os corpos «duros» seriam absolutamente indeformáveis.
- 20 Veja-se o passo do P.L., II, p. 9, já citado, *supra*, p. 196.
- 21 É curioso que, no séc. XVII, a reivindicação do carácter experimental para a nova ciência vai muitas vezes de par com uma profunda idealização da experiência: «... Estas linhas são muito características do pensamento de Descartes. Ele sabia, tão bem como qualquer outro, observar a natureza e raciocinar exactamente a respeito das suas leis. Mas tinha depois a pretensão de tudo reconstruir racionalmente, pelos princípios da sua filosofia; considerava que só no pensamento estava o princípio da certeza. Sabe-se que não queria admitir na física senão os princípios recebidos na geometria. Deste modo acabava, por exagero de método, por desprezar a experiência». E. Jouguet, *Lectures de Mécanique*, Paris, 1922, citado por R. Dugas, *Histoire de la Mécanique*, p. 156.
- 22 P.L., II, p. 256, § 377.
- 23 Cf. texto citado, *supra*, p. 196.
- 24 R. Dugas, *La Mécanique au XVII^e siècle*, p. 118.
- 25 P.L., I, pp. VII-X. Utilizo a tradução do P. António Freire, *ob. cit.*, pp. 314-316. Permitti-me discordar da tradução, e por isso manter, perto da letra, «forças vivas» e «forças centrais».
- 26 P.L., II, início da Lição IX, p. 166.
- 27 P.L., II, p. 167.
- 28 P.L., p. 167, § 212.
- 29 P.L., II, p. 168, § 213.
- 30 P.L., II, p. 169, § 214.
- 31 P.L., II, p. 170, § 217.
- 32 P.L., II, p. 179, § 235.
- 33 P.L., II, p. 179, § 236.
- 34 P.L., II, p. 248, § 360.
- 35 P.L., II, p. 249, nota.
- 36 P.L., II, pp. 181-182, § 240.
- 37 P.L., II, p. 182, § 241.
- 38 P.L., II, pp. 204-205, §§ 274-275.
- 39 P.L., II, p. 197, § 265.
- 40 P.L., II, p. 207, § 282.
- 41 P.L., II, pp. 208-209, § 284.
- 42 Citado por R. Dugas, *Histoire de la Mécanique*, p. 47.
- 43 Citado por R. Dugas, *Histoire de la Mécanique*, pp. 48-49.
- 44 Todas as grandezas da física são «abstractas» no sentido de que não correspondem perfeitamente às noções com que o senso comum tenta interpretar o mundo.
- 45 No caso da interacção entre dois corpos — por exemplo, um choque — as variações das quantidades de movimento são simétricas. Portanto, as forças

- sobre os corpos são iguais em módulo e de sentido oposto. É a igualdade da acção e da reacção.
- 46 P.L., II, p. 255, § 374.
- 47 P.L., II, pp. 255-256, §§ 375 e 377.
- 48 P.L., II, p. 180, § 237.
- 49 P.L., II, pp. 212-221, §§ 289-305.
- 50 P.L., II, p. 264, § 395.
- 51 P.L., II, pp. 264-265, §§ 395-396.
- 52 P.L., II, pp. 265-266, § 398.
- 53 Ver *supra*, p. 214, Segunda Lei, Corolário II.
- 54 P.L., II, p. 265, § 397.
- 55 P.L., II, pp. 266-268, §§ 401 e 406.
- 56 P.L., II, pp. 222-225, §§ 308 e 310.
- 57 P.L., II, p. 225, § 310; cf. P.L., IV, p. 355, § 656.
- 58 P.L., II, p. 183, § 243.
- 59 P.L., II, pp. 187-189, Nota histórica, § 252.
- 60 P.L., II, p. 192, § 258.
- 61 P.L., II, p. 193, § 259.
- 62 P.L., II, p. 205, § 276.
- 63 P.L., II, p. 212, § 287.
- 64 P.L., II, p. 205, § 277.
- 65 P.L., II, p. 236, § 334.
- 66 P.L., II, p. 241, §§ 343-344.
- 67 P.L., II, p. 344, § 560.
- 68 P.L., II, pp. 358-359, § 592.
- 69 P.L., II, pp. 359-360, § 594.
- 70 P.L., II, pp. 361-362, § 596.
- 71 P.L., II, p. 363, § 600.
- 72 P.L., III, p. 7, § 7.
- 73 P.L., III, p. 6, § 6.
- 74 P.L., III, p. 8, § 9.
- 75 P.L., III, p. 8, § 10.
- 76 Cf. P.L., III, pp. 15-21, §§ 22-23.
- 77 P.L., III, pp. 39-40, § 67.
- 78 P.L., III, p. 41, § 69.
- 79 P.L., III, p. 42, § 71.
- 80 P.L., III, p. 51, § 86.
- 81 P.L., III, p. 51, § 87.
- 82 P.L., III, p. 56, § 96.
- 83 Cf. P.L., III, p. 66, §§ 107-108 e pp. 140-141.
- 84 P.L., III, p. 101, § 148.
- 85 P.L., III, p. 111, § 166.
- 86 P.L., III, pp. 130-131, §§ 201-203.
- 87 P.L., III, pp. 140-199, §§ 222-337.
- 88 P.L., III, pp. 199-207, §§ 338-351.
- 89 P.L., III, p. 221, § 378.
- 90 P.L., IV, p. 353, § 647.

⁹¹ P.L., IV, p. 354, § 651.

⁹² Quando hoje apresentamos a teoria newtoniana da gravitação, dizemos assim: dadas duas partículas A e B, qualquer delas, por exemplo a partícula A, cria em todo o espaço, e portanto também no ponto B ocupado pela outra, um campo $\vec{g} = - (G m_A / r^2) \vec{u}_r$. Este campo só depende da massa da partícula potenciante, neste caso m_A . Imersa neste campo, a partícula B fica sujeita à força $\vec{F}_B = m_B \vec{g}_B = - (G m_A m_B / r^2) \vec{u}_r$ que é a força de Newton, dependente do produto das massas. Por outro lado, da lei fundamental da dinâmica $\vec{F}_B = m_B \vec{a}_B$, resulta $\vec{a}_B = \vec{g}_B$, que é independente de m_B , só dependente de m_A e de r .

I. Monteiro não diz nada que contrarie esta doutrina, mas também não é claro até que ponto a conhece e aceita. Como já notei, é muito estranho que ele nunca

cite a lei fundamental da dinâmica de Newton, $\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt} = m \vec{a}$.

Cf., sobre estes vários pontos, P.L., IV, pp. 363-364, §§ 679-680. Ver ainda pp. 354-355, §§ 654-657.

⁹³ Cf. P.L., IV, pp. 355-356, 357, 366-367, §§ 656-661, 666, 683.

⁹⁴ Cf. P.L., IV, pp. 356-358, 368-370, 364-365, §§ 662, 667, 668, 681.

⁹⁵ Cf. P.L., IV, pp. 359-363, 370, §§ 672-673, 678, 680.

⁹⁶ P.L., IV, pp. 371-372, § 690.

⁹⁷ P.L., IV, pp. 372-378, §§ 691-702.

⁹⁸ P.L., IV, p. 377, § 702.

⁹⁹ P.L., IV, pp. 379-388, §§ 704-718.

¹⁰⁰ P.L., VI, p. 388, § 719.

¹⁰¹ Isto significa, como acentua K. Popper, que se registam muitos exemplos desfavoráveis e nenhum exemplo desfavorável (feita uma adequada discussão dos erros experimentais).

¹⁰² Cf. P.L., VI, pp. 278-377, §§ 468-597 e pp. 408-427, §§ 129-169.

¹⁰³ Cf. Rómulo de Carvalho, *A Física Experimental em Portugal no Séc. XVIII*, Lisboa, 1982, Biblioteca Breve, vol. 63.

AS CIÊNCIAS GEOFÍSICAS EM PORTUGAL

JOSÉ PINTO PEIXOTO *

JOSÉ FRANCISCO VITORINO GOMES FERREIRA **

SUMMARY

In studying the development of the Geophysical Sciences in Portugal up to the twentieth Century we may consider two main phases: a proto-historical and an historical phase. The first one extends up to the XVIII Century and corresponds to the qualitative description of the Geophysical phenomena. The main sources of information are the oral and written traditions, religious documents, historical publications, legislation, scientific work and the literature. The records of various religious orders contain abundant references to all kinds of natural calamities that occurred in Portugal through the centuries, such as big storms, floods, droughts, volcanic eruptions, seisms, land slides, etc. The numerous edicts, provisions and laws concerning the natural calamities provide also a very good source of information on the extent and the intensity of various meteorological, hydrological and geophysical events. In the literature, since the Middle Ages, there are imposing descriptions of big storms, of volcanic eruptions, of seisms and of all kinds of climatic anomalies.

During the XV and XVI Centuries the Portuguese Science reached a very high level in various domains, including the Geophysical Sciences. The Portuguese navigators had a very broad knowledge of the winds systems in both the North and South Atlantic Oceans and of the monsoons in the Indian Ocean. The routes of navigation were planned according to the prevailing winds of the seasons. They were able to sail against the winds. They knew about the behaviour of the main ocean current (Canary Currents; Agulhas Currents, etc.), about tides, etc. The magnetic observations performed by D. João de Castro in the Red Sea (1560) are still regarded as true master pieces of scientific observations. They mark the beginning of the Geomagnetism as a Science.

After this remarkable period the Science in Portugal became much weaker and decadent. The historical phase emerges in Portugal as a consequence of its

* Director do Instituto Geofísico Infante D. Luís.

** Ex-Director do Instituto Geofísico Infante D. Luís.