

Mas, para além da "mensagem" de Koyré, há ainda a clareza, a frescura da sua exposição e a agilidade do discurso. Aspectos ainda mais valorizados hoje pela circunstância de a posição de Koyré ir no sentido das concepções mais divulgadas na actualidade. Portanto – e mesmo que não houvesse outras razões –, estas já seriam bastantes para enaltecer os méritos destes dois pequenos mas importantes estudos, cuja oportunidade é sobremaneira evidente. Sublinha-se ainda o interesse destes textos como indispensável instrumento de apoio a estudantes e professores de Filosofia no ensino secundário.

José Trindade Santos

gradiva

GALILEU E PLATÃO

Alexandre
Koyré



gradiva



PANFLETOS GRADIVA

J. H. Shennan

A França antes da Revolução

Michael Mullett

A Contra-Reforma

Martin Blinkhorn

Mussolini e a Itália Fascista

David Arnold

A Época dos Descobrimentos / 1400-1600

Conceição Coelho Ferreira

Natércia Neves Simões

A Evolução do Pensamento Geográfico

Alexandre Koyré

Galileu e Platão

A PUBLICAR

P. M. Harman

A Revolução Científica

Alexandre Koyré

Galileu e Platão
e
Do Mundo do «mais ou menos»
ao Universo da Precisão

Tradução revista por

JOSÉ TRINDADE SANTOS,

da Faculdade de Letras da Universidade Clássica
de Lisboa

gradiva

Tradução: *Maria Teresa Brito Curado*

Revisão do texto: *Manuel Joaquim Vieira*

Fotocomposição: *Dilar Guerreiro Rosário*

Impressão e acabamento: *Gráfica Barbosa & Santos, L.^{da},
Cabeço de Montachique*

Gradiva - Publicações, L.^{da}

Rua 1.º de Maio, 134, 3.º, esq. - Telef. 64 72 99

1307 Lisboa Codex

NOTA

Os dois estudos ora apresentados aos leitores de língua portuguesa foram originalmente publicados em 1943 e 1948. Polemicamente inovadores, os pontos de vista que defendem opunham-se às correntes da epistemologia e história das ciências da época, fortemente marcadas por tendências empiristas e positivistas. Contra estas, Koyré sustenta duas teses capitais. A primeira defende que as conquistas do pensamento antigo devem ser examinadas à luz das categorias do tempo em que surgiram, e não segundo os pontos de vista actuais. A segunda aparece-nos como uma apaixonada defesa da ideia: uma reclamação dos direitos da imaginação teórica contra os da realização prática.

As teses de Koyré anunciavam há meio século o estilo que as investigações em epistemologia, história e filosofia das ciências viriam a apresentar nas décadas de 60 e 70, sobretudo a partir de duas obras de enorme projecção: The Logic

of Scientific Discovery, de Karl Popper, e Structure of Scientific Revolutions, de Thomas Kuhn*.

Mas, para além da «mensagem» de Koyré, há ainda a clareza, a frescura da sua exposição e a agilidade do discurso. Aspectos ainda mais valorizados hoje pela circunstância de a posição de Koyré ir no sentido das concepções mais divulgadas na actualidade. Portanto — e mesmo que não houvesse outras razões —, estas já seriam bastantes para enaltecer os méritos destes dois pequenos mas importantes estudos, cuja oportunidade é sobremaneira evidente. Sublinha-se ainda o interesse destes textos como indispensável instrumento de apoio a estudantes e professores de Filosofia no ensino secundário.

José Trindade Santos

Galileu e Platão

* Originalmente publicada em 1934, a *Logik der Forschung* só veio a tornar-se uma das obras mais importantes da epistemologia actual após a sua tradução em inglês, em 1959. Pelo seu lado, a *Structure of Scientific Revolutions* aparece em 1962, como segundo volume da *International Encyclopedia of Unified Science*, publicada pela University of Chicago Press. Mas a vigência destas obras prolonga-se ainda para além da década de 70.

O nome de Galileo Galilei encontra-se indissoluvelmente ligado à revolução científica do século XVI; uma das mais profundas, se não a mais profunda revolução do pensamento humano depois da descoberta do cosmo pelo pensamento grego: uma revolução que implica uma «mutação» intelectual radical, de que a ciência física moderna é, ao mesmo tempo, expressão e fruto¹.

Esta revolução é por vezes caracterizada e explicada simultaneamente por uma espécie de revolta espiritual, por uma transformação completa de toda a atitude fundamental do espírito humano, tomando a vida activa, *vita activa*, o lugar da *theoria*, *vita contemplativa*, que até então havia sido considerada a sua forma mais elevada. O homem

¹ Cf. J. H. Randall, Jr., *The Making of the Modern Mind*, Bóston, 1926, pp. 220 e segs. e 231 e segs.; cf. também A. N. Whitehead, *Science and the Modern World*, Nova Iorque, 1925.

moderno procura dominar a natureza, ao passo que o homem medieval ou antigo se esforçava, antes de mais, por a contemplar. Deve, pois, explicar-se a tendência mecanista da física clássica — física de Galileu, de Descartes, de Hobbes, *scientia activa, operativa* —, que devia tornar o homem «dono e senhor da natureza», por este desejo de dominar, de agir. Deve-se considerá-la como decorrente muito simplesmente desta atitude, como aplicação à natureza das categorias do pensamento do *Homo faber*². A ciência de Descartes — *a fortiori*, a de Galileu — não é mais (como já foi dito) do que a ciência do artesão ou do engenheiro³.

Esta explicação não me parece, devo confessá-lo, inteiramente satisfatória. É verdade, bem entendido, que a filosofia moderna, tal como a ética e a religião modernas, põe a tónica na acção, na *praxis*, bem mais do que o faziam o pensamento antigo e medieval. O mesmo é verdade acerca da ciência moderna: penso na física cartesiana, nas suas comparações com roldanas, cordas e alavancas. Contudo, a atitude que acabámos de descrever é muito mais a de Bacon — cujo papel na história das ciências não é da mesma ordem —⁴ que a de Galileu ou de Descartes. A ciência destes não é de engenheiros ou artesãos, mas de homens cuja

² É preciso não confundir esta concepção largamente difundida com a de Bergson, para quem toda a física, quer a aristotélica, quer a newtoniana, é, em última análise, obra do *Homo faber*.

³ Cf. L. Laberthonnière, *Études sur Descartes*, Paris, 1935, II, pp. 288 e segs., 297 e 304: «Physique de l'explicitation des choses.»

⁴ Bacon é o arauto, o *buccinator* da ciência moderna, e não um dos seus criadores.

obra raramente ultrapassou a ordem da teoria⁵. A nova balística foi elaborada, não por artífices ou artilheiros, mas contra eles. E Galileu não aprendeu o seu ofício com aqueles que se atarefavam nos arsenais e estaleiros navais de Veneza. Muito pelo contrário: ensinou-lhes o *deles*⁶. Além disso,

⁵ A ciência de Descartes e de Galileu foi, bem entendido, extremamente importante para o engenheiro e o técnico; ela provocou, finalmente, uma revolução técnica. Todavia, não foi criada e desenvolvida por engenheiros e técnicos, mas sim por teóricos e filósofos.

⁶ «Descartes artesão» é a concepção de cartesianismo que Leroy desenvolveu no seu *Descartes Social*, Paris, 1931, e F. Borkenau levou ao absurdo no seu livro *Der Übergang vom feudalen zum bürgerlichen Weltbild*, Paris, 1934. Borkenau explica o nascimento da filosofia e da ciência cartesianas por uma nova forma de empreendimento económico, isto é, a manufatura. Cf. a crítica do livro de Borkenau, crítica muito mais interessante e instrutiva que o próprio livro, feita por H. Grossman, «Die gesellschaftlichen Grundlagen der mechanistischen Philosophie und die Manufaktur», in *Zeitschrift für Sozialforschung*, Paris, 1935.

Quanto a Galileu, encontra-se ligado às tradições dos artesãos, construtores, engenheiros, etc., do Renascimento por L. Olschki, *Galileo und seine Zeit*, Halle, 1927, e mais recentemente por E. Zilsel, «The sociological roots of science», in *The American Journal of Sociology*, XLVII, 1942. Zilsel sublinha o papel desenvolvido pelos «artesãos qualificados» do Renascimento na expansão da moderna mentalidade científica. Como é sabido, é verdade que os artistas, engenheiros, arquitectos, etc., do Renascimento tiveram um papel importante na luta contra a tradição aristotélica e que alguns deles — como Leonardo da Vinci e Benedetti — procuraram mesmo desenvolver uma dinâmica nova, antiaristotélica; todavia, esta dinâmica, como o mostrou de modo concludente Duhem, era, nos seus aspectos principais, a dos nominalistas parisienses, a dinâmica do *impetus* de Jean Buridan e de Nicolau Oresme. E, se Benedetti, de longe

esta teoria explica demasiado e demasiado pouco. Explica o prodigioso desenvolvimento da ciência do século XVII pelo da tecnologia. Todavia, este último é muito menos marcante que o primeiro. Por outro lado, esquece as conquistas técnicas da Idade Média. Negligencia o apetite de poder e de riqueza que inspirou a alquimia ao longo de toda a sua história.

Outros eruditos insistiram na luta de Galileu contra a autoridade, contra a tradição, em particular a de Aristóteles: contra a tradição científica e filosófica que a Igreja defendia e ensinava nas universidades. Sublinharam o papel da observação e da experiência na nova ciência da natureza⁷. É perfeitamente verdade que a observação e a experimentação constituem um dos traços mais característicos da ciência moderna. É certo que nos escritos de Galileu encontramos inúmeros apelos à observação e à experiência e uma ironia amarga em relação aos homens que não acreditavam no testemunho dos seus olhos, porque aquilo que viam era contrário ao ensinamento das autoridades, ou, pior ainda, que não queriam, como Cremonini, olhar pelo seu telescópio com medo de verem alguma coisa que pudesse contradizer as teorias e

o mais notável destes «precursores» de Galileu, transcende algumas vezes o nível da dinâmica «parisiense», não é em virtude do seu trabalho como engenheiro e artilheiro, mas sim porque estudou Arquimedes e decidiu aplicar «a filosofia matemática» à investigação da natureza.

⁷ Muito recentemente fui amigavelmente criticado por ter negligenciado este aspecto dos ensinamentos de Galileu. (Cf. L. Olschki, «The Scientific Personality of Galileo», in *Bulletin of the History of Medicine*, XII, 1942.) Não creio, devo confessá-lo, ter merecido essa crítica, ainda que acredite profundamente que a ciência é essencialmente teoria, e não colecta de «factos».

crenças tradicionais. Ora foi precisamente por ter construído um telescópio e o haver utilizado, ao observar cuidadosamente a Lua e os planetas, ao descobrir os satélites de Júpiter, que Galileu desferiu um golpe mortal contra a astronomia e a cosmologia da sua época.

Contudo, não devemos esquecer que a observação ou a experiência, no sentido da experiência espontânea do senso comum, não desempenhou um papel capital — ou, se desempenhou, foi um papel negativo, de obstáculo — na fundação da ciência moderna⁸. A física de Aristóteles, e mais ainda a dos nominalistas parisienses, de Buridan e Nicolau Oresme, encontrava-se muito mais próxima, segundo Tannery e Duhem, da experiência do senso comum do que a de Galileu ou de Descartes⁹. Não foi a

⁸ E. Meyerson (*Identité et réalité*, 3.^a ed., Paris, 1926, p. 156) mostra de modo muito convincente a falta de acordo entre a «experiência» e os princípios da física moderna.

⁹ P. Duhem, *Le Système du monde*, Paris, 1913, I, pp. 194 e segs.: «Esta dinâmica, com efeito, parece adaptar-se de modo tão feliz às observações correntes que não poderia deixar de se impor, antes de mais, à aceitação dos que primeiro especularam sobre as forças e os movimentos... Para que os físicos venham a rejeitar a dinâmica de Aristóteles e a construir a dinâmica moderna será necessário que compreendam que os factos de que todos os dias são testemunhas não são, de modo algum, factos simples, elementares, aos quais as leis fundamentais da dinâmica devem imediatamente aplicar-se; que a marcha do navio puxado por barqueiros, que o rolar num caminho da viatura atrelada, devem ser encarados como movimentos de uma extrema complexidade; numa palavra, que como princípio da ciência do movimento se deve, por abstracção, considerar um móvel que, sob a acção de uma única força, se move no vazio. Ora, na sua dinâmica, Aristóteles vai ao ponto de concluir que tal movimento é impossível.»

«experiência», mas a «experimentação», que desempenhou — apenas mais tarde — um papel positivo considerável. A experimentação consiste em interrogar metodicamente a natureza; esta interrogação pressupõe e implica uma *linguagem* com a qual formulemos as questões, bem como um dicionário que nos permita ler e interpretar as respostas. Para Galileu, sabemo-lo bem, era em curvas, círculos e triângulos, em linguagem matemática, ou, mais precisamente, em *linguagem geométrica* — não a do senso comum ou de puros símbolos —, que deveríamos falar à natureza e receber as suas respostas. A escolha da linguagem e a decisão de a empregar não podiam evidentemente ser determinadas pela experiência que o próprio uso desta linguagem devia tornar possível. Era-lhes necessário vir de outras fontes.

Outros historiadores da ciência e da filosofia¹⁰ procuraram mais modestamente caracterizar a física moderna, enquanto *física*, por meio de alguns dos seus traços marcantes: por exemplo, o papel que o princípio da inércia aí desempenha. Exacto de novo: o princípio da *inércia* ocupa um lugar eminente na mecânica clássica, em contraste com a dos antigos. É aí a lei fundamental do movimento; reina implicitamente sobre a física de Galileu e explicitamente sobre a de Descartes e de Newton.

¹⁰ Kurd Lasswitz, *Geschichte der Atomistik*, Hamburgo e Lipsia, 1890, II, pp. 23 e segs.; E. Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung*, 8.ª ed., Lipsia, 1921, pp. 117 e segs.; E. Wohllwill, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», in *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vols. XIV e XV, 1883 e 1884, e E. Cassirer, *Das Erkenntnis problem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, 2.ª ed., Berlim, 1911, I, pp. 394 e segs.

Mas determo-nos sobre esta característica parece-me um pouco superficial. A meu ver, não basta estabelecer simplesmente o facto. Devemos compreendê-lo e explicá-lo — explicar por que razão a física *moderna* foi capaz de adoptar este princípio; compreender porquê e como o princípio de inércia, que nos parece tão simples, tão claro, tão plausível e mesmo evidente, adquiriu este estatuto de evidência e de verdade *a priori*, quando, para os Gregos, como para os pensadores da Idade Média, a ideia de um corpo que, posto em movimento, continuasse sempre a se mover era evidentemente falsa e mesmo absurda¹¹.

Não tentarei explicar aqui as razões e as causas que provocaram a revolução espiritual do século XVI. É suficiente, para o nosso propósito, descrevê-la, caracterizar a atitude mental ou intelectual da ciência moderna por meio de dois traços solidários: 1.º, a destruição do cosmo, por consequente, o desaparecimento da ciência de todas as considerações fundadas sobre essa noção¹²; 2.º, a geometrização do espaço — isto é, a substituição do espaço homogêneo e abstracto da geometria euclidiana pela concepção de um espaço cósmico qualitativamente diferenciado e concreto, o da física pré-galilaica. Podemos resumir e exprimir como segue essas duas características: a matematização (geometrização) da natureza e, por consequência, a matematização (geometrização) da ciência.

¹¹ Cf. E. Meyerson, *op. cit.*, pp. 124 e segs.

¹² O termo persiste, bem entendido, e Newton fala ainda do cosmo e da sua ordem (como fala também do *impetus*), mas num sentido inteiramente novo.

A dissolução do cosmo significa a destruição de uma ideia: a de um mundo de estrutura finita, hierarquicamente ordenado, de um mundo qualitativamente diferenciado do ponto de vista ontológico. Esta é substituída pela de um universo aberto, indefinido e mesmo até infinito, que as mesmas leis universais unificam e governam. Um universo no qual todas as coisas pertencem ao mesmo nível de Ser, ao contrário da concepção tradicional, que distinguia e opunha os dois mundos do céu e da Terra. As leis do céu e as da Terra são, a partir de agora, fundidas em conjunto. A astronomia e a física tornam-se interdependentes, e mesmo unificadas e unidas¹³. Isso implica a desapareição, da perspectiva científica, de todas as considerações baseadas no valor, na perfeição, na harmonia, na significação e no desígnio¹⁴, que desaparecem no espaço infinito do novo universo. É neste novo universo, neste novo mundo duma geometria tornada real, que as leis da física clássica encontram valor e aplicação.

¹³ Como procurei mostrar noutro lado (*Études galiléennes*, III, *Galilé et la loi d'inertie*, Paris, 1940), a ciência moderna resulta desta unificação da astronomia e da física, que lhe permite aplicar os métodos de pesquisa matemática, utilizados até então no estudo dos fenómenos celestes, ao estudo dos fenómenos do mundo sublunar.

¹⁴ Cf. E. Bréhier, *Histoire de la philosophie*, t. II, fasc. I, Paris, 1929, p. 95: «Descartes liberta a física do domínio do cosmo helénico, isto é, da imagem de um certo estado privilegiado de coisas que satisfaz as nossas necessidades estéticas... Não há estado privilegiado, uma vez que todos os estados são equivalentes. Não há, portanto, lugar em física para a procura das causas finais e a consideração do melhor.»

A dissolução do cosmo, repito-o, eis o que me parece ser a revolução mais profunda realizada ou sofrida pelo espírito humano depois da invenção do cosmo pelos Gregos. É uma revolução tão profunda, de consequências tão longínquas, que, durante séculos, os homens — com raras excepções, entre as quais Pascal — não se aperceberam do seu alcance e sentido; e ainda agora é frequentemente subestimada e mal compreendida.

O que os fundadores da ciência moderna, e entre eles Galileu, deviam então fazer não era criticar e combater certas teorias erradas, para as substituir por outras melhores. Deviam fazer algo completamente diferente: destruir um mundo e substituí-lo por outro, reformar a própria estrutura da nossa inteligência, formular de novo e rever os seus conceitos, conceber o Ser de uma nova maneira, elaborar um novo conceito de conhecimento, um novo conceito de ciência — e mesmo até substituir um ponto de vista bastante natural, o do senso comum, por um outro que o não é de modo algum¹⁵.

Isto explica por que razão a descoberta de coisas, de leis, que parecem hoje tão simples e fáceis que as ensinamos às crianças — leis do movimento, lei da queda dos corpos — exigiu um esforço tão longo, tão árduo, frequentemente vão, de alguns dos

¹⁵ Cf. P. Tannery, «Galilée et les principes de la dynamique», in *Mémoires scientifiques*, VI, Paris, 1926, p. 399: «Se, para julgarmos o sistema dinâmico de Aristóteles, abstrairmos os preconceitos que decorrem da nossa educação moderna, se procurarmos colocar-nos no estado de espírito que podia ter um pensador independente do começo do século XVII, é difícil não reconhecer que esse sistema está muito mais de acordo com a observação imediata dos factos que o nosso.»

maiores génios da humanidade, um Galileu, um Descartes¹⁶. Este facto, por seu lado, parece-me refutar as tentativas modernas de minimizar, ou mesmo negar, a originalidade do pensamento de Galileu, ou, pelo menos, o seu carácter revolucionário; e torna igualmente manifesto que a aparente continuidade no desenvolvimento da física, da Idade Média aos tempos modernos (continuidade que Caverni e Duhem tão energicamente sublinharam), é ilusória¹⁷. É verdade, bem entendido, que uma

¹⁶ Cf. os meus *Études galiléennes*, II, *La loi de la chute des corps*, Paris, 1940.

¹⁷ Cf. Caverni, *Storia del metodo sperimentale in Italia*, 5 vols., Firenze, 1891-96, em particular os vols. IV e V; P. Duhem, *Le Mouvement absolu et le mouvement relatif*, Paris, 1905; «De l'accélération produite par une force constante», in *Congrès international de l'Histoire des Sciences*, 3.^a sessão, Genebra, 1906; *Études sur Léonard de Vinci: Ceux qu'il a lus et ceux qui l'ont lu*, 3 vols., Paris, 1909-13, em particular o vol. III: *Les précurseurs parisiens de Galilée*. Muito recentemente, a tese da continuidade foi defendida por J. H. Randall, Jr., no seu brilhante artigo «Scientific method in the school of Padua», in *Journal of the History of Ideas*, I, 1940; Randall mostra de modo convincente a elaboração progressiva do método de «resolução e composição» no ensino dos grandes lógicos do Renascimento. Contudo, o próprio Randall declara que «um elemento faltou no método formulado por Zabarella: não exigiu que os princípios da ciência natural fossem matemáticos» (p. 204) e que o *Tractatus de paedia*, de Cremonini, «soasse como o aviso solene para os matemáticos triunfantes sobre a grande tradição aristotélica do empirismo racional» (id.). Ora «esta insistência no papel dos matemáticos que se juntou ao método lógico de Zabarella» (p. 205) constitui, precisamente, em minha opinião, o conteúdo da revolução científica do século XVII e, na opinião da época, a linha de demarcação entre os adeptos de Platão e os de Aristóteles.

tradição ininterrupta conduz das obras dos nominalistas parisienses às de Benedetti, Bruno, Galileu e Descartes. (Eu próprio acrescentei um elo à história desta tradição.)¹⁸ Contudo, a conclusão que daí extrai Duhem é enganadora: uma revolução bem preparada é, apesar de tudo, uma revolução e, a despeito do facto de Galileu ter, na sua juventude (como Descartes, por vezes), partilhado as perspectivas e ensinado as teorias dos críticos medievais de Aristóteles, a ciência moderna, a ciência nascida dos seus esforços e das suas descobertas, não segue a inspiração dos «precursores parisienses de Galileu», coloca-se imediatamente num nível completamente diferente — um nível que gostaria de designar como arquimediano. O verdadeiro precursor da física moderna não é nem Buridan, nem Nicolau Oresme, nem mesmo João Filópono, mas sim Arquimedes¹⁹.

I

Podemos dividir em dois períodos a história do pensamento científico da Idade Média e do Renascimento, a qual começamos a conhecer um pouco melhor²⁰. Ou, antes, como a ordem cronológica

¹⁸ Cf. *Études galiléennes*, I: *À l'aube de la science classique*, Paris, 1940.

¹⁹ O século XVI, pelo menos na sua segunda metade, é o período em que se recebeu, estudou e compreendeu a pouco e pouco Arquimedes.

²⁰ Devemos esse conhecimento sobretudo aos trabalhos de P. Duhem (às obras atrás citadas na nota 17 é necessário acrescentar: *Les Origines de la statique*, 2 vols. Paris, 1905,

não corresponde senão muito grosseiramente a esta divisão, poderíamos distinguir *grosso modo* a história do pensamento científico em três etapas ou épocas, que correspondem, por sua vez, a três tipos diferentes de pensamento: a física aristotélica, primeiro; em seguida, a física do *impetus*, saída, como tudo o mais, do pensamento grego e elaborada no decurso do século XIV pelos nominalistas parisienses; finalmente, a física moderna, matemática, do tipo da de Arquimedes ou de Galileu.

Estas etapas podem ser encontradas nas obras do jovem Galileu: não só nos informam em relação à história — ou à pré-história — do seu pensamento, acerca dos móveis e motivos que o dominaram e inspiraram, mas também nos oferecem, ao mesmo tempo, compilado e, por assim dizer, clarificado pela admirável inteligência do seu autor, um quadro notável e profundamente instrutivo de toda a história da física pré-galilaica. Recordemos rapidamente esta história, começando pela física de Aristóteles.

A física de Aristóteles é falsa, bem entendido, e completamente ultrapassada. Todavia, é uma «física», quer dizer, uma ciência altamente elaborada, ainda que o não seja matematicamente²¹. Não se

e *Le Système du monde*, 5 vols., Paris, 1913-17) e aos de Lynn Thorndike; cf. a sua monumental *History of Magic and Experimental Science*, 6 vols., Nova Iorque, 1923-41. Cf. igualmente F. J. Dijksterhuis, *Wal en Worp*, Groninga, 1924.

²¹ A física aristotélica é, por essência, não matemática. Apresentá-la, como o faz Duhem (*De l'accélération produite par une force constante*, p. 859), como simplesmente fundada sobre uma outra fórmula matemática que não a nossa é um erro.

trata de um imaginário pueril ou de um enunciado logomáquico grosseiro do senso comum, mas de uma teoria, isto é, de uma doutrina que, partindo naturalmente dos dados do senso comum, os submete a um tratamento coerente e sistemático²².

Os factos, ou dados, que servem de fundamento a esta elaboração teórica são muito simples e, na prática, admitimo-los exactamente como o fazia Aristóteles. Achamos todos «natural» ver um corpo pesado cair «para baixo». Exactamente como Aristóteles, ou São Tomás, ficaríamos profundamente espantados ao ver um grave — pedra ou touro — elevar-se livremente no ar. Isso parecer-nos-ia muito *contra natura* e procuraríamos explicá-lo por qualquer mecanismo oculto.

Do mesmo modo, achamos sempre «natural» ver a chama de um fósforo dirigir-se para «o alto» e colocar as nossas panelas «sobre» o fogo. Ficaríamos surpreendidos e procuraríamos uma explicação se vissemos, por exemplo, a chama virar-se e apontar para «baixo». Consideraríamos esta concepção, ou, melhor, esta atitude, como pueril e simplista? Talvez. Podemos mesmo assinalar que, segundo Aristóteles, a ciência começa precisamente quando tentamos explicar as coisas que parecem naturais. Contudo, quando a termodinâmica enuncia como um princípio que o «calor» passa de um corpo quente a um corpo frio, mas não de um corpo frio a um corpo quente, não traduz simplesmente a intuição do senso comum de que um corpo quente se torna «naturalmente» frio, mas um corpo frio não

²² Frequentemente, o historiador moderno do pensamento científico não aprecia devidamente o carácter sistemático da física aristotélica.

se torna «naturalmente» quente? E, quando declaramos que o centro de gravidade de um sistema tende a tomar a posição mais baixa e não se eleva por si só, não estaremos simplesmente a traduzir uma intuição do senso comum, aquela mesma que a física aristotélica exprime ao distinguir o movimento «natural» do movimento violento?²³

Além disso, a física aristotélica, tal como a termodinâmica, não se satisfaz com exprimir simplesmente na sua linguagem o «facto» do senso comum que acabámos de mencionar, mas transpõe-no. A distinção entre movimentos «naturais» e movimentos «violentos» situa-se numa concepção de conjunto da realidade física, concepção cujos principais traços parecem ser: a) a crença na existência de «naturezas» qualitativamente definidas; e b) a crença na existência de um cosmo — em suma, a crença na existência de princípios de ordem, em virtude dos quais o conjunto dos seres reais forma um todo hierarquicamente ordenado.

Todo, ordem cósmica, harmonia: estes conceitos implicam que, no universo, as coisas são (ou devem ser) distribuídas e dispostas segundo uma ordem determinada; que a sua localização não é indiferente nem para elas, nem para o universo; que, pelo contrário, cada coisa tem, segundo a sua natureza, um «lugar» determinado no universo, o seu próprio, em certo sentido²⁴. Um lugar para cada coisa e cada coisa no seu lugar: o conceito

²³ Cf. E. Mach, *Die Mechanik*, pp. 124 e segs.

²⁴ É apenas no «seu» lugar que um ser atinge a sua plenitude e se torna verdadeiramente ele próprio. Eis porque tende a atingir esse lugar.

de «lugar natural» exprime esta exigência teórica da física aristotélica.

A concepção de «lugar natural» encontra-se fundada numa concepção puramente estática de ordem. Com efeito, se cada coisa estivesse «em ordem», cada coisa estaria no seu lugar natural e, bem entendido, aí permaneceria para sempre. Por que razão deveria deixá-lo? Pelo contrário, ofereceria resistência a todo o esforço para a retirar daí. Não a poderíamos expulsar sem exercer sobre ela uma espécie de *violência*, e, se, devido a essa *violência*, o corpo se encontrasse fora do «seu» lugar, procuraria regressar a ele.

Portanto, todo o movimento implica uma espécie de desordem cósmica, uma alteração no equilíbrio do universo, porque é, quer efeito directo da *violência*, quer, pelo contrário, efeito do esforço do Ser para compensar esta *violência*, para recuperar a sua ordem e o seu equilíbrio perdidos e perturbados, para reconduzir as coisas aos seus lugares naturais, lugares onde devem repousar e permanecer. Este regresso à ordem constitui precisamente o que designámos por movimento «natural»²⁵.

Perturbar o equilíbrio, regressar à ordem: é perfeitamente claro que a ordem constitui um estado sólido e durável que tende a perpetuar-se a si próprio indefinidamente. Não há, pois, necessidade de explicar o estado de repouso, pelo menos o estado de um corpo em repouso no seu lugar natural, próprio: é a sua própria natureza que o explica, que explica, por exemplo, que a Terra esteja em

²⁵ As concepções de «lugares naturais» e de «movimentos naturais» implicam a de um universo finito.

repouso no centro do mundo. Pela mesma razão, é evidente que o movimento é necessariamente um estado transitório: um movimento natural acaba naturalmente quando atinge o seu fim. Quanto ao movimento violento, Aristóteles é demasiado optimista para admitir que este estado anormal possa durar; além disso, o movimento violento é uma desordem que gera desordem e admitir que pudesse durar indefinidamente significaria, de facto, abandonar a própria ideia de um cosmo bem ordenado. Aristóteles mantém, portanto, a crença tranquilizadora de que nada do que é *contra naturam possit esse perpetuum* ²⁶.

Assim, como acabámos de dizer, o movimento na física aristotélica é um estado essencialmente transitório. Tomado à letra, contudo, este enunciado seria incorrecto e até mesmo duplamente incorrecto. O facto é que o movimento, ainda que seja para *cada um dos corpos movidos*, ou, pelo menos, para os do mundo sublunar, para os objectos móveis da nossa experiência, um estado necessariamente transitório e efémero, é, todavia, para o conjunto do mundo um fenómeno necessariamente eterno e, por conseguinte, eternamente necessário ²⁷ — um fenómeno que não podemos explicar sem descobrir a sua origem e a sua causa, tanto na estrutura física, como na metafísica do cosmo. Uma tal análise mostraria que a estrutura ontológica do Ser material o impediria de atingir o estado de per-

²⁶ Aristóteles, *Física*, VIII, 8, 215 b.

²⁷ O movimento não pode resultar senão de um movimento anterior. Por conseguinte, todo o movimento implica uma série infinita de movimentos precedentes.

feição que a noção de repouso absoluto implica e permitir-nos-ia ver a causa física última dos movimentos temporários, efémeros e variáveis dos corpos sublunares no movimento contínuo, uniforme e perpétuo das esferas celestes ²⁸. Por outro lado, o movimento não é, propriamente dito, um *estado*: é um processo, um fluxo, um *devir*, no e pelo qual as coisas se constituem, se actualizam e se realizam ²⁹. É perfeitamente verdade que o Ser é o termo do devir e o repouso o fim do movimento. Contudo, o repouso imutável de um ser plenamente actualizado é qualquer coisa de inteiramente diferente da imobilidade, pesada e impotente, de um ser incapaz de se mover por si próprio; o primeiro é alguma coisa de positivo, «perfeição e *actus*», a segunda não é mais que uma «privação». Por conseguinte, o movimento — *processo*, devir, mudança — encontra-se colocado entre os dois do ponto de vista ontológico. É o ser de tudo o que muda, de tudo aquilo de que o ser é alteração e modificação e que *não é* senão ao mudar-se e alterar-se. A célebre definição aristotélica do movimento — *actus entis in potentia in quantum est in potentia* —, que Descartes considerará perfeitamente ininteligível, exprime admiravelmente o facto: o movimento é o ser — ou o *actus* — de tudo o que não é Deus.

Assim, mover-se é mudar, *aliter et aliter se habere*; mudar em si próprio e em relação aos outros. Isto implica, por um lado, um termo de re-

²⁸ Num universo finito, o único movimento uniforme que pode persistir indefinidamente é um movimento circular.

²⁹ Cf. Kurt Riezler, *Physics and Reality*, New Haven, 1940.

ferência em relação ao qual a coisa movida muda o seu ser ou relação; o que implica — se examinarmos o movimento local —³⁰ a existência dum ponto fixo em relação ao qual o movido se move, um ponto fixo imutável; o qual, evidentemente, não pode ser senão o centro do universo. Por outro lado, o facto de cada mudança, cada processo, ter necessidade, para se explicar, de uma causa implica que cada movimento necessita de um motor que o produza, motor que o mantém em movimento durante tanto tempo quanto o movimento dure. O movimento, com efeito, não se mantém como o repouso. O repouso — estado de privação — não precisa da acção de uma qualquer causa para explicar a sua persistência. O movimento, a mudança, qualquer processo de actualização ou de enfraquecimento e mesmo de actualização ou enfraquecimento contínuo, não pode passar sem uma tal acção. Retirai a causa, e o movimento cessará. *Cessante causa cessat effectus*³¹.

No caso do movimento «natural», esta causa, este motor é a própria natureza do corpo, a sua «forma», que procura reconduzi-lo ao seu lugar e que conserva, pois, o movimento. Vice-versa, o movimento que é *contra naturam* exige, durante

³⁰ O movimento local — deslocamento — não é senão uma espécie, ainda que particularmente importante, de «movimento» (*kinêsis*), movimento no domínio do espaço, por contraste com a alteração, movimento no domínio da qualidade, e a geração e corrupção, movimento no domínio do ser.

³¹ Aristóteles tem perfeitamente razão. Nenhum processo de mudança ou de devir se pode produzir sem causa. Se o movimento, na física moderna, persiste por si próprio, é porque não é mais do que um processo.

toda a sua permanência, a acção *contínua* de um motor externo junto do corpo movido. Retirai o motor, e o movimento cessará. Separai-o do corpo movido, e o movimento parará também. Aristóteles, sabemo-lo bem, não admite a acção a distância³²; cada transmissão de movimento implica, segundo ele, um contacto. Não há, portanto, senão dois géneros de transmissão: a pressão e a tracção. Para fazer mexer um corpo é necessário empurrá-lo ou puxá-lo. Não há outros meios.

A física aristotélica forma, assim, uma admirável teoria coerente que, a bem dizer, não apresenta senão um defeito (para além de ser falsa): o defeito de ser desmentida pelo facto quotidiano do lançamento. Mas um teórico que se preza não se deixa perturbar por uma objecção extraída do senso comum. Se encontra um «facto» que não se quadra com a sua teoria, nega-lhe a existência. Se não o pode negar, explica-o. É na explicação deste facto quotidiano, do lançamento, movimento que continua apesar da ausência de um «motor», facto aparentemente incompatível com a sua teoria, que Aristóteles nos dá a medida do seu génio. A sua resposta consiste em explicar o movimento do projectil, aparentemente sem motor, pela reacção do meio ambiente, ar ou água³³. A teoria é um golpe de génio. Infelizmente (para além de ser falsa), é absolutamente impossível do ponto de vista do senso comum. Não é, portanto, de admirar que a crítica

³² O corpo *tende* para o seu lugar natural, mas não é *atraído* por ele.

³³ Cf. Aristóteles, *Física*, IV, 8, 215 a; VIII, 10, 267 a; *Do Céu*, III, 2, 301 b. E. Meyerson, *Identité et réalité*, p. 84.

à dinâmica aristotélica regresse sempre à mesma *questio disputata: a que moveantur projecta?*

II

Voltaremos dentro em pouco a esta *questio*, mas devemos antes examinar um outro detalhe da dinâmica aristotélica: a negação de todo o vazio e do movimento num vazio. Com efeito, nesta dinâmica, um vazio não permite ao movimento produzir-se mais facilmente; pelo contrário, torna-o completamente impossível, e isto por razões muito profundas.

Dissemos já que, na dinâmica aristotélica, cada corpo é concebido como sendo dotado de uma tendência a encontrar-se no seu lugar natural e a regressar ao mesmo quando dele afastado por violência. Esta tendência explica o movimento natural de um corpo: movimento que o leva ao seu lugar natural pelo caminho mais curto e mais rápido. Resulta daí que todo o movimento natural se processa em linha recta e que cada corpo caminha em direcção ao seu lugar natural tão depressa quanto possível; isto é, tão depressa quanto o seu meio, que resiste ao seu movimento e se lhe opõe, lho permite fazer. Se, por conseguinte, não houvesse o que quer que fosse que o detivesse, se o meio ambiente não opusesse qualquer resistência ao movimento que o atravessa (caso do movimento num vazio), o corpo encaminhar-se-ia para o «seu» lugar com uma velocidade infinita³⁴. Mas tal mo-

³⁴ Cf. Aristóteles, *Física*, VII, 5, 249 b, 250 a; *Do Céu*, III, 2, 301 e.

vimento seria instantâneo, o que — justamente por isso — parece absolutamente impossível a Aristóteles. A conclusão é evidente: um movimento (natural) não pode produzir-se no vazio. Quanto ao movimento violento, por exemplo o de lançar: um movimento no vazio equivaleria a um movimento sem motor; é evidente que o vazio não é um meio físico e não pode receber, transmitir e manter um movimento. Além disso, no vazio (como no espaço da geometria euclidiana) não há lugares privilegiados ou direcções. No vazio não há, e não pode haver, lugares «naturais». Por conseguinte, um corpo colocado no vazio não saberia para onde dirigir-se, não haveria qualquer razão que o levasse a dirigir-se mais para uma direcção do que para outra e, portanto, não haveria qualquer razão para se mover. Vice-versa, uma vez posto em movimento, não teria qualquer razão para se deter mais num lugar do que noutro e, por conseguinte, não teria qualquer razão para parar³⁵. As duas hipóteses são completamente absurdas.

No entanto, Aristóteles, mais uma vez, tem toda a razão. Um espaço vazio (o da geometria) destrói inteiramente a concepção de uma ordem cósmica: num espaço vazio não somente não existem lugares naturais³⁶, como não existem *lugares*. A ideia de um vazio não é compatível com a compreensão do movimento como mudança e processo — talvez mesmo não o seja com a do movimento concreto de corpos concretos «reais» per-

³⁵ Cf. Aristóteles, *Física*, IV, 8, 214 b, 215 b.

³⁶ Se o preferirmos, poderemos dizer que, num vazio, todos os lugares são os lugares naturais de toda a espécie de corpos.

ceptíveis: quero dizer, os corpos da nossa experiência quotidiana. O vazio é um *sem sentido*³⁷; colocar as coisas num tal *sem sentido* é absurdo³⁸. Apenas os corpos geométricos podem ser «colocados» num espaço geométrico.

O físico examina coisas reais, o geómetra razões a propósito de abstrações. Por conseguinte, defende Aristóteles, nada poderia ser mais perigoso do que misturar geometria e física e aplicar um método e um raciocínio puramente geométricos ao estudo da realidade física.

III

Assinalei já que a dinâmica aristotélica, apesar, ou talvez por causa, da sua perfeição teórica, apresentava um inconveniente grave: o de ser absolutamente não plausível, completamente incrível e inaceitável pelo bom senso e, evidentemente, em contradição com a experiência quotidiana mais comum. Não admira, pois, que ela nunca tenha gozado de um reconhecimento universal e que os críticos e adversários da dinâmica de Aristóteles lhe tenham sempre oposto a observação de bom senso de que um movimento prossegue ainda que separado do seu motor originário. Os exemplos clássicos de tal movimento, rotação persistente da roda, voo da flecha, lançamento de uma pedra, foram sempre invocados para a contrariar, desde Hiparco a João Filópono, de João Buridan e Ni-

³⁷ Kant chamava ao espaço vazio uma *Unding*.

³⁸ Tal era, como sabemos, a opinião de Descartes e de Espinosa.

colau Oresme a Leonardo da Vinci, Benedetti e Galileu³⁹.

Não é minha intenção analisar aqui os argumentos tradicionais que, desde João Filópono⁴⁰, têm sido repetidos pelos adeptos da sua dinâmica. É possível classificá-los *grosso modo* em dois grupos: a) os primeiros argumentos são de ordem material e sublinham até que ponto é improvável a suposição segundo a qual um corpo grande e pesado — bala, mó que roda, flecha que voa contra o vento — possa ser movido pela reacção do ar;

³⁹ Para a história da crítica medieval de Aristóteles cf. as obras citadas anteriormente (na nota 17) e B. Jansen e Olivi, «Der älteste scholastische Vertreter des heutigen Bewegungsbegriffes», in *Philosophisches Jahrbuch* (1920); K. Michalsky, «La Physique nouvelle et les différents courants philosophiques au XIV^e siècle», in *Bulletin international de l'Académie polonaise des sciences et des lettres* (Cracóvia, 1927); S. Moser, *Grundbegriffe der Naturphilosophie bei Wilhelm von Occam* (Innsbruck, 1932); E. Borchert, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* (Münster, 1934); R. Marcolongo «La Meccanica di Leonardo da Vinci», in *Atti della reale accademia delle scienze fisiche e matematiche*, XIX (Nápoles, 1933).

⁴⁰ Sobre João Filópono, que parece ter sido o verdadeiro inventor da teoria do *impetus*, cf. E. Wohlwill, «Ein vorgänger Galileis im VI Jahrhundert», in *Phisicalische Zeitschrift*, VII (1906), e P. Duhem, *Le Système du monde*, I: a Física de João Filópono, não tendo sido traduzida em latim, permaneceu inacessível aos escolásticos que não tinham à disposição senão o breve resumo dado por Simplicio. Mas foi bem conhecida pelos Árabes e a tradição árabe parece ter influenciado directamente, e pela tradução de Avicena, a escola «parisiense» a um ponto até hoje insuspeito. Cf. o muito importante artigo de S. Pines «Études sur Awhad al-Zamān Abū'l Barakāt al-Baghdādī», in *Revue des études juives* (1938).

b) os outros são de ordem formal e assinalam o carácter contraditório da atribuição ao ar de um duplo papel — o da resistência e o de motor —, bem como o carácter ilusório de toda a teoria: esta não faz mais que deslocar o problema do corpo para o ar e encontra-se, por isso, obrigada a atribuir ao ar o que recusa a outros corpos: a capacidade de manter um movimento separado da sua causa externa. Se é assim, pergunta-se: por que razão não supor que o motor transmite ao corpo movido, ou lhe imprime, qualquer coisa que o torna capaz de se mover — qualquer coisa chamada *dynamis*, *virtus motiva*, *virtus impressa*, *impetus*, *impetus impressus*, por vezes *forza* ou mesmo *motio*, e que é sempre representada como uma qualquer espécie de poder ou de força que passa do motor ao *móvil*, e continua então o movimento ou, melhor, produz o movimento como sua causa?

É evidente, como o próprio Duhem reconheceu, que regressámos ao bom senso. Os adeptos da física do *impetus* pensam em termos de experiência quotidiana. Não é então certo que necessitamos de fazer um *esforço*, de desenvolver e gastar força para mover um corpo, por exemplo para empurrar um carro, lançar uma pedra ou distender um arco? Não é evidente que esta força que move o corpo, ou, antes, o faz mover-se, seja a força que o corpo recebe do motor, que o torna capaz de ultrapassar uma resistência (como a do ar) e enfrentar obstáculos?

Os adeptos medievais da dinâmica do *impetus* discutem longamente e sem sucesso o estatuto ontológico do *impetus*. Procuram fazê-lo entrar na classificação aristotélica, interpretá-lo como uma espécie de *forma* ou de *habitus*, ou com uma espécie

de qualidade como o calor (Hiparco e Galileu). Estas discussões mostram somente a natureza confusa, imaginativa, da teoria que é directamente um produto ou, se assim se pode dizer, um condensado de senso comum.

Como tal, está mais de acordo com os «factos» do que o ponto de vista aristotélico — factos reais ou imaginários, que constituem o fundamento experimental da dinâmica medieval; em particular com o «facto» bem conhecido de que todo o projectil começa por aumentar a sua velocidade e adquire o máximo de rapidez algum tempo depois de se ter separado do motor⁴¹. Todos sabemos que

⁴¹ É interessante notar que esta crença absurda que Aristóteles partilhou e ensinou (*Do Céu*, II, 6) estava tão profundamente enraizada e tão universalmente aceite que Descartes, ele próprio, não ousou negá-la abertamente e, como o fez frequentemente, preferiu explicá-la. Em 1630 escreve a Mersenne (A.-T., I, p. 110): «Gostaria também de saber se nunca verificaste se uma pedra lançada com uma físga, ou a bala de um mosquete, ou uma seta de besta vão mais depressa e com mais força a meio do seu movimento que no começo e se fazem mais efeito. Porque é essa uma crença do vulgo, com a qual, todavia, os seus raciocínios não concordam; e eu entendo que as coisas que são empurradas e não se movem por si mesmas devem ter mais força no começo que ao continuarem depois.» Em 1632 (A.-T., I, p. 259) e mais uma vez em 1640 (A.-T., II, pp. 37 e segs.) explica ao seu amigo o que há de verdadeiro nesta crença: «*In motu projectorum* não creio que o missil vá menos depressa no começo que no fim, a contar do primeiro momento que deixa de ser empurrado pela mão ou pela máquina; mas creio bem que um mosquete, não estando distanciado senão um pé e meio de uma muralha, não terá tanto efeito como se estivesse dela afastado quinze ou vinte passos, porque a bala, ao sair do mosquete, não pode tão facilmente empurrar o ar que está entre ela e esta muralha, e assim deve ir menos

para saltar um obstáculo é necessário «tomar balanço»; que um carro que se empurra ou puxa parte lentamente e adquire velocidade a pouco e pouco; também ele toma balanço e adquire a sua força viva; do mesmo modo que cada um — até mesmo uma criança que atira uma bola — sabe que, para atingir o objectivo com força, é necessário colocar-se a uma certa distância, não demasiado perto, a fim de permitir à bola tomar velocidade. A física do *impetus* não tem dificuldade em explicar este fenómeno; do seu ponto de vista, é perfeitamente natural que seja necessário algum tempo ao *impetus* para se apropriar do *móvil* — exactamente como o calor, por exemplo, precisa de tempo para alastrar por um corpo.

A concepção do movimento que fundamenta e apoia a física do *impetus* é completamente diferente da da teoria aristotélica. O movimento já não é interpretado como um processo de actualização. Contudo, é sempre uma mudança e, como tal, é necessário explicá-lo pela acção de uma força ou de uma causa determinada. O *impetus* é precisamente essa causa imanente que produz o movimento, o qual é, *converso modo*, o efeito produzido por ela. Deste modo, o *impetus impressus* produz o movimento; ele *move* o corpo. Mas, ao mesmo tempo, desempenha um outro papel muito impor-

depressa do que se a muralha estivesse menos próxima. Contudo, cabe à experiência determinar se esta diferença é sensível e duvido muito de todas as que eu próprio não fiz. «Pelo contrário, o amigo de Descartes, Beeckman, nega peremptoriamente a possibilidade de uma aceleração do projectil e escreve (*Beeckman e Mersenne*, 30 de Abril 1630, cf. *Correspondance du P. Mersenne*, Paris, 1936, II, p. 457).

tante: ultrapassar a resistência que o meio opõe ao movimento.

Dado o carácter confuso e ambíguo da concepção de *impetus*, é muito natural que os seus dois aspectos e funções devam fundir-se e que certos adeptos da dinâmica do *impetus* cheguem à conclusão de que, pelo menos em determinados casos particulares, tais como o movimento circular das esferas celestes ou, mais geralmente, o rolar de um corpo circular sobre uma superfície plana, ou ainda, em termos mais gerais, em todos os casos em que não há resistência externa ao movimento, como no *vacuum*, o *impetus* não enfraqueça e permaneça «imortal». Esta visão de conjunto parece muito próxima da lei da inércia e é, pois, particularmente interessante e importante notar que o próprio Galileu — que no seu *De Motu* nos dá uma das melhores exposições da dinâmica do *impetus* — nega resolutamente a validade de uma tal suposição e afirma com vigor a natureza essencialmente perecível do *impetus*.

Evidentemente que Galileu tem razão. Se se compreende o movimento como o efeito do *impetus* considerado como sua causa — uma causa imanente, mas não interna, à maneira de uma «natureza» —, é impensável e absurdo não admitir que a causa ou força que o produz deva, necessariamente, gastar-se e consumir-se finalmente nesta produção. Não pode permanecer sem mudança durante dois momentos consecutivos, pelo que o movimento que produz deve necessariamente abrandar e extinguir-se⁴². O jovem Galileu dá-nos, assim,

⁴² Cf. Galileo Galilei, *De Motu, Opere*, edição Nacional, I, pp. 324 e segs.

uma lição muito importante. Ensina-nos que a física do *impetus*, ainda que compatível com o movimento num *vacuum*, é, como a de Aristóteles, *incompatível* com o princípio de inércia. Não é esta a única lição que Galileu nos dá a respeito da física do *impetus*. A segunda é, pelo menos, tão preciosa como a primeira. Mostra que, como a de Aristóteles, a dinâmica do *impetus* é incompatível com um método matemático. Não conduz a parte alguma. É uma via sem saída.

A física do *impetus* fez muito poucos progressos durante os mil anos que separam João Filópono de Benedetti. Mas nos trabalhos deste último, e de modo mais claro, mais coerente e consciente do que nos do jovem Galileu, podemos encontrar um esforço deliberado para aplicar a esta física os princípios da «filosofia matemática»⁴³, sob a influência evidente, inegável, de «Arquimedes, o sobre-humano»⁴⁴.

Nada mais instrutivo que o estudo deste ensaio — ou, mais exactamente, destes ensaios — e do seu falhanço. Mostram-nos que é impossível matematizar, isto é, transformar em conceito exacto, matemático, a grosseira, vaga e confusa teoria do *impetus*. Foi necessário abandonar esta concepção a fim de edificar uma física matemática na perspectiva da estática de Arquimedes⁴⁵. Foi preciso

⁴³ J. B. Benedetti, *Diversarum speculationum mathematicarum liber*, Taurini, 1585, p. 168.

⁴⁴ Galileo Galilei, *De Motu*, p. 300.

⁴⁵ A persistência da terminologia — a palavra *impetus* é utilizada por Galileu e pelos seus discípulos e até mesmo por Newton — não deve impedir-nos de verificar a desaparecimento da ideia.

de movimento. É este novo conceito que devemos a Galileu.

IV

Conhecemos tão bem os princípios e os conceitos da mecânica moderna, ou, melhor, estamos tão habituados a eles, que nos é quase impossível ver as dificuldades que foi necessário ultrapassar para os estabelecer. Estes princípios parecem-nos tão simples, tão naturais, que não notamos os paradoxos que implicam. Todavia, o simples facto de os maiores e mais poderosos espíritos da humanidade — Galileu, Descartes — terem tido de lutar para os fazer seus basta para demonstrar que estas noções claras e simples — a noção de movimento ou a de espaço — não são tão claras e simples como parecem. Ou então são claras e simples de um certo ponto de vista unicamente, como parte de um conjunto de conceitos e de axiomas, para além dos quais deixam de ser simples. Ou talvez sejam demasiado claras e simples, tão simples e claras que, como todas as noções primeiras, são muito difíceis de apreender.

O movimento, o espaço: tentemos por momentos esquecer tudo o que aprendemos na escola e esforcemo-nos por representar o que significam em mecânica. Procuremos colocar-nos na situação de um contemporâneo de Galileu, de um homem habituado aos conceitos da física aristotélica, que *ele* aprendeu na *sua* escola, e a quem pela primeira vez se depara o conceito moderno de movimento. O que é então? Algo de estranho, com efeito.

Qualquer coisa que não afecta, de modo algum, o corpo dele dotado: estar em movimento ou estar em repouso é indiferente ao corpo em movimento ou em repouso, não lhe traz qualquer mudança. O corpo, enquanto tal, nada tem a ver com um ou com outro⁴⁶. Por conseguinte, não podemos atribuir o movimento a um corpo considerado em si mesmo. Um corpo não está em movimento senão quando se encontra em relação com qualquer outro corpo que supomos estar em repouso. Todo o movimento é relativo. E, portanto, podemos atribuí-lo a um ou a outro dos dois corpos, *ad libitum*⁴⁷.

Assim, o movimento parece ser uma relação. Mas é, ao mesmo tempo, um *estado*; exactamente como o repouso é um outro *estado*, inteira e absolutamente oposto ao primeiro; além disso, um e outro são *estados persistentes*⁴⁸. A célebre primeira lei do movimento, a lei da inércia, ensina-nos que um corpo entregue a si próprio persiste eternamente no seu estado de movimento ou de repouso e que devemos pôr em acção uma força para transformar um estado de movimento em estado de re-

⁴⁶ Na física aristotélica, o movimento é um processo de mudança e afecta sempre o corpo em movimento.

⁴⁷ Um dado corpo pode, por conseguinte, estar dotado de não importa que número de movimentos diferentes que não interferem uns com os outros. Na física aristotélica, tal como na do *impetus*, cada movimento interfere com cada um dos outros e por vezes impede-os mesmo de se produzirem.

⁴⁸ O movimento e o repouso são, assim, colocados ao mesmo nível ontológico; a persistência do *movimento* torna-se, pois, tão evidente por si própria, sem que haja necessidade de a explicar, como o tinha sido antes a persistência do *repouso*.

pouso ou vice-versa⁴⁹. Todavia, a eternidade não é pertença de toda a espécie de movimento, mas apenas do movimento uniforme em linha recta. A física moderna afirma, como todos sabemos, que um corpo, uma vez posto em movimento, conserva eternamente a sua direcção e velocidade, na condição, bem entendido, de não sofrer a acção de qualquer força externa⁵⁰. Por outro lado, ao aristotélico que objecta que, ainda que conheça de facto o movimento eterno, o movimento eterno circular das esferas celestes, nunca encontrou, porém, um movimento rectilíneo persistente, a física moderna responde: certamente! Um movimento rectilíneo uniforme é absolutamente impossível e não pode produzir-se senão num vazio.

Pensemos um pouco nisto e talvez não sejamos demasiado duros para com o aristotélico que se sentia incapaz de compreender e aceitar esta noção inconcebível de uma relação-estado persistente, substancial. Conceito de qualquer coisa que, para ele, parecia tão abstrusa e impossível como nos parecem as malconformadas formas substanciais dos escolásticos. Não é de admirar que o aristotélico se tenha sentido espantado e desorientado com este estranho esforço de explicar o real pelo impossível, ou — o que corresponde ao mesmo — de explicar o ser real pelo ser matemático, porque, como já o afirmei, estes corpos que se movem em linhas rectas num espaço vazio infinito não são

⁴⁹ Em termos modernos: na dinâmica aristotélica e na do *impetus*, a força produz movimento; na dinâmica moderna, a força produz aceleração.

⁵⁰ Isto implica, necessariamente, a infinidade do universo.

corpos *reais*, que se deslocam num espaço *real*, mas corpos *matemáticos*, que se movem num espaço *matemático*.

Mais uma vez, estamos tão habituados à ciência matemática, à física matemática, que já não sentimos a estranheza de um ponto de vista matemático sobre o ser, a audácia paradoxal de Galileu ao declarar que o livro da natureza está escrito em caracteres geométricos⁵¹. Para nós, isso é incontestável. Mas não para os contemporâneos de Galileu. Por conseguinte, o que constitui o verdadeiro assunto do *Diálogo sobre os Dois maiores Sistemas do Mundo* é o direito da ciência matemática, da explicação matemática da natureza, por oposição à não matemática do senso comum e da física aristotélica, bem mais do que a oposição entre dois sistemas astronómicos. É um facto que o *Diálogo*, como creio tê-lo demonstrado já nos meus *Estudos Galilaicos*, não é tanto um livro sobre a *ciência*, no sentido que damos a esta palavra, mas um livro sobre a filosofia, ou, para ser completamente exacto e empregar uma expressão caída em desuso, mas venerável, um livro sobre a *filosofia da natureza*. E isto pela boa razão de que a solução do problema astronómico depende

⁵¹ G. Galilei, *Il Saggiatore, Opere*, VI, p. 232: «La filosofia è scritta in questo grandissimo libro, che continuamente ci sta aperto innanzi a gli occhi (io dico l'universo), ma non si può intendere se prima non s'impara a intendere la lingua, e conoscer i caratteri, ne quali è scritto. Egli è scritto in lingua matematica, e i caratteri son triangoli, cerchi, ed altre figure geometriche, senza i quali mezzi è impossibile a intenderne umanamente parola.» Cf. *Lettre à Liceti*, de Janeiro de 1641, *Opere*, XVIII, p. 293.

da constituição de uma nova física; a qual, por seu lado, implica a solução da questão *filosófica*, do papel que as matemáticas desempenham na constituição da ciência da natureza.

O papel e o lugar das matemáticas na ciência não é, de facto, um problema muito novo. Muito pelo contrário: durante mais de mil anos ele foi objecto de meditação, de pesquisa e discussão filosóficas. Galileu tem plena consciência disso. Nada de espantoso nesse facto! Desde muito novo terá percebido, como estudante da Universidade de Pisa, que as conferências do seu mestre Francesco Buonamici lhe podiam ter ensinado que a «questão» do papel e da natureza das matemáticas constitui o principal assunto de oposição entre Aristóteles e Platão⁵². E, alguns anos mais tarde, quando voltou a Pisa, desta vez como professor, pode ter sabido do seu amigo e colega Jacopo Mazzoni, autor de um livro sobre Platão e Aristóteles, que «nenhuma outra questão deu lugar a especulações mais nobres e mais belas... que a de saber se o uso das matemáticas, em física, como instrumento de prova e meio termo de demonstração, é oportuno ou não; por outras palavras, se é vantajoso ou, pelo contrário, perigoso e nocivo». «É bem sabido», diz Mazzoni, «que Platão acreditava que as matemáticas são particularmente apropriadas às pesquisas da física, razão pela qual ele próprio a elas recor-

⁵² A enorme compilação de Buonamici (1011 páginas *in folio*) é uma inestimável obra de referência para o estudo das teorias medievais do movimento. Ainda que os historiadores de Galileu lhe tenham frequentemente *feito menção*, nunca a utilizaram.

reu por várias vezes, a fim de explicar mistérios físicos. Mas Aristóteles defendia um ponto de vista completamente diferente e explicava os erros de Platão pela importância excessiva que aquele atribuía às matemáticas⁵³.

Vemos que, para a consciência científica e filosófica da época — Buonamici e Mazzoni mais não fazem do que exprimir a *communis opinio* —, a oposição, ou, melhor, a linha de demarcação entre o aristotélico e o platónico, é perfeitamente clara. Se reivindicais para as matemáticas um estatuto superior, se, além disso, ainda lhes atribuis um valor real e uma posição decisiva em física, então sois platónico. Se, pelo contrário, vedes nas matemáticas uma ciência abstracta, portanto de menor valor do que as outras — a física e a metafísica — que tratam do ser real; se, em especial, sustentais que a física não necessita de qualquer outro fundamento senão a experiência e deve edificar-se directamente sobre a percepção, que as matemáticas devem contentar-se em desempenhar o papel secundário e subsidiário de um simples auxiliar, então sois aristotélico.

O que está em causa aqui não é a certeza — nenhum aristotélico pôs alguma vez em dúvida a certeza das proposições ou demonstrações geométricas —, mas o Ser; e nem sequer o emprego das matemáticas em física — nenhum aristotélico negou,

⁵³ Jacobi Mazzoni, Caesenatis, em «Almo Gymnasio Pisano Aristotelem ordinarie Platonem vero ordinem profitentis», in *Universam Platonis et Aristotelis Philosophiam Praeludia, sive de comparatione Platonis et Aristotelis*, Veneza, 1597, pp. 187 e segs.

jamais, o nosso direito a medir o que é mensurável e a contar o que é contável —, mas a estrutura da ciência e, portanto, a estrutura do Ser.

Tais são as discussões a que Galileu faz continuamente alusão no decurso deste *Diálogo*. Assim, logo no início, Simplicio, o aristotélico, sublinha que, «no que respeita às coisas naturais, não necessitamos sempre de procurar a necessidade das demonstrações matemáticas»⁵⁴. Ao que Sagredo, que se concede o prazer de não compreender Simplicio, replica: «Naturalmente, quando não a podeis atingir. Mas, se vos for possível, porque não?» Naturalmente. Se é possível, nas questões relativas às coisas da natureza, atingir uma demonstração dotada de rigor matemático, por que razão não deveríamos tentar fazê-lo? Mas será que isso é possível? Eis exactamente o problema. E Galileu, à margem do livro, resume a discussão e exprime o verdadeiro pensamento do aristotélico: «Nas demonstrações relativas à natureza», diz ele, «não devemos procurar a exactidão matemática.»

Não devemos. Porquê? Porque é impossível. Porque a natureza do ser físico é qualitativa e vaga. Não se conforma com a rigidez e a precisão dos conceitos matemáticos. É sempre «mais» ou «menos». Portanto, como o aristotélico nos explicará mais tarde, a filosofia, que é a ciência do real, não precisa de examinar os detalhes nem de recorrer às determinações numéricas para formular as suas teorias sobre o movimento; tudo o que deve fazer é enumerar-lhe as principais categorias (natural,

⁵⁴ Cf. Galileo Galilei, *Dialogo sopra i due Massimi Sistemi del Mondo, Opere*, edição Nacional, VII, 38, p. 256.

violento, rectilíneo, circular) e descrever-lhe os traços gerais, qualitativos e abstractos⁵⁵.

O leitor moderno está provavelmente longe de se sentir convencido por esta explicação e acha difícil admitir que «a filosofia» tenha devido contentar-se com uma generalização abstracta e vaga e não tenha tentado estabelecer leis universais precisas e concretas. O leitor moderno não conhece a verdadeira razão desta necessidade, mas os contemporâneos de Galileu conheciam-na muito bem. Sabiam que a qualidade, tal como a forma, sendo por natureza não matemática, não podia ser analisada em termos matemáticos. A física não é geometria aplicada. A matéria terrestre não pode mostrar formas matemáticas exactas; as «formas» nunca a «informam» completa e perfeitamente. Subsiste sempre uma distância. Nos céus, bem entendido, as coisas passam-se de outra maneira; por conseguinte, a astronomia matemática é possível. Mas a astronomia não é a física. Que isto tenha escapado a Platão, eis precisamente o seu erro e o dos seus adeptos. É inútil tentar edificar uma filosofia matemática da natureza. O empreendimento está condenado ainda antes de começar. Não conduz à verdade, mas ao erro.

«Todas estas subtilezas matemáticas», explica Simplicio, «são verdadeiras *in abstracto*. Mas, aplicadas à matéria sensível e física, não funcionam.»⁵⁶ Na verdadeira natureza não há nem círculos, nem triângulos, nem linhas rectas. É, portanto, inútil aprender a linguagem das figuras matemáticas: não

⁵⁵ Cf. *Dialogo*, p. 242.

⁵⁶ *Ibid.*, pp. 229 e 423.

é nelas que está escrito, a despeito de Galileu e de Platão, o livro da natureza. Com efeito, isso não é somente inútil, é perigoso: quanto mais um espírito está acostumado à precisão e à rigidez do pensamento geométrico, menos capaz será de apreender a diversidade móvel, mutável, qualitativamente determinada, do Ser.

Esta atitude do aristotélico nada tem de ridícula⁵⁷. Para mim, pelo menos, parece perfeitamente sensata. Não podeis estabelecer uma teoria matemática da qualidade, objecta Aristóteles a Platão; e nem sequer do movimento. Não há movimento nos números. Mas *ignorato motu ignoratur natura*. O aristotélico do tempo de Galileu podia acrescentar ainda que o maior dos platónicos, o divino Arquimedes ele próprio⁵⁸, nunca pôde elaborar mais do que uma estática, não uma dinâmica. Uma teoria do repouso, e não do movimento.

O aristotélico tinha perfeitamente razão. É impossível fornecer uma dedução matemática da qualidade. Sabemos bem que Galileu, como Descartes, um pouco mais tarde e pela mesma razão, foi obrigado a suprimir a noção de qualidade, a declará-la subjectiva, a bani-la do domínio da natureza⁵⁹. O que implica, ao mesmo tempo, ter sido obrigado a suprimir a percepção dos sentidos como fonte de conhecimento e a declarar que o conhecimento intelectual e até mesmo *a priori* é o nosso único meio de apreender a essência do real.

⁵⁷ Como é sabido, foi a de Pascal e mesmo a de Leibniz.

⁵⁸ Vale talvez a pena notar que, para toda a tradição doxográfica, Arquimedes é um *philosophus platonicus*.

⁵⁹ Cf. E. A. Burt, *The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, Londres e Nova Iorque, 1925.

Quanto à dinâmica e às leis do movimento, o *posse* não deve ser provado senão pelo *esse*; para mostrar que é possível estabelecer as leis matemáticas da natureza é necessário fazê-lo. Não há outro meio e Galileu tem disso plena consciência. É, pois, ao dar soluções matemáticas a problemas físicos concretos — o da queda dos corpos e do movimento de um projectil — que ele leva Simplicio a confessar que «querer estudar problemas da natureza sem matemática é tentar fazer qualquer coisa que não pode ser feita».

Parece-me que podemos agora compreender o sentido deste texto significativo de Cavalieri, que em 1630 escreve no seu *Specchio Ustorio*: «Tudo o que contribui para (acrescenta) o conhecimento das ciências matemáticas, que as célebres escolas dos pitagóricos e platónicos consideravam supremamente necessário à compreensão das coisas físicas, aparecerá claramente em breve, assim o espero, com a publicação da nova ciência do movimento, prometida por esse maravilhoso verificador da natureza Galileo Galilei.»⁶⁰

Compreendemos também o orgulho do platónico Galileu quando anuncia nos seus *Discursos e Demonstrações* que «vai promover uma ciência

⁶⁰ Buonaventura Cavalieri, *Lo Specchio Ustorio overo trattato Delle Settionii Coniche e alcuni loro mirabili effetti intorno al Lume*, etc., Bolonha, 1632, pp. 152 e segs.: «Ma quanto vi aggiunga la cognitione delle scienze Mathematiche, giudicate da quelle famosissime scuole de 'Pithagorici' et de 'Platonici', sommamente necessarie per intender le cose Fisiche, spero in breve sarà manifesto, per la nuova dottrina del moto promessaci dall'esquisitissimo Saggiatore della Natura, dico dal Sig. Galileo Galilei, ne'suoi Dialoghi...»

completamente nova a propósito de um problema muito antigo» e que provará algo que nunca, até então, foi provado, isto é, que o movimento da queda dos corpos está sujeito à lei dos números⁶¹. O movimento governado pelos números; a objecção aristotélica estava finalmente refutada.

É evidente que, para os discípulos de Galileu, tal como para os seus contemporâneos e maiores, matemática significa platonismo. Por conseguinte, quando Torricelli nos diz que, «entre as artes liberais, só a geometria exercita e aguça o espírito e o torna capaz de ser um ornamento da Cidade em tempo de paz e de a defender em tempo de guerra» e que, «*caeteris paribus*, um espírito habituado à ginástica geométrica é dotado de uma força particular e *viril*»⁶², não se mostra apenas um discípulo autêntico de Platão, reconhece-se e proclama-se como tal. Ao fazê-lo, permanece um discípulo fiel do seu mestre Galileu, que na sua *Resposta aos Exercícios Filosóficos*, de Antonio Rocco, se dirige a este último para lhe pedir que ajuíze por si

⁶¹ Galileo Galilei, *Discorsi e dimostrazioni mathematiche intorno a due nuove scienze*, *Opere*, edição Nacional, VIII, p. 190: «Nullus enim, quod sciam, demonstravit, aptia a mobile descendente ex quiete peracta in temporibus aequalibus, eam inter se retinere rationem, quam habent numeri impares ab unitate consequentes.»

⁶² Evengelista Torricelli, *Opera Geometrica*, Florença, 1644, II, p. 7: «Sola enim Geometria inter liberales disciplinas acriter exacuit ingenium, idoneumque reddit ad civitates adornandas in pace et in bello dedendas: caeteris enim paribus, ingenium quod exercitatum sit in Geometrica palestra, peculiare quoddam et virile robur habere solet: praestabitque sempre et antecellet, circa studia Architecturae, rei bellicae, nauticaeque, etc.»

próprio o valor dos dois métodos rivais — o método puramente físico e empírico e o da matemática — e acrescenta: «Decidi ao mesmo tempo quem raciocinou melhor: se Platão, que diz que sem matemática não seria possível aprender filosofia, se Aristóteles, que acusou este mesmo Platão de ter estudado demasiadamente a geometria.»⁶³

Acabo de chamar platônico a Galileu. Creio que ninguém porá em dúvida que o seja⁶⁴. Aliás,

⁶³ Galileo Galilei, *Esercitazioni filosofiche di Antonio Rocco, Opere*, edição Nacional, VII, p. 744.

⁶⁴ O platonismo de Galileu foi mais ou menos reconhecido por certos historiadores modernos das ciências e da filosofia. Assim, o autor da tradução alemã do *Dialogo* sublinha a influência platônica (doutrina da reminiscência) sobre a própria forma do livro (cf. Galileu Galilei, *Dialog über die beiden hauptsächlichsten Weltsysteme, aus dem italienischen übersetzt und erläutert von E. Strauss*, Lipsia, 1891, p. XLIX): E. Cassirer (*Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, ed. Berlim, 1911, I, pp. 389 e segs.) insiste no platonismo de Galileu no seu ideal de conhecimento; L. Olschki (*Galileo und seine Zeit*, Lipsia, 1927) fala da «visão platônica da natureza» de Galileu, etc. É E. Burtt (*The Metaphysical Foundations of Modern Physical Science*, Nova Iorque, 1925) quem me parece ter melhor exposto o plano de fundo metafísico da ciência moderna (o matematismo platônico). Infelizmente, Burtt não soube reconhecer a existência de duas (e não uma) tradições platônicas, a da especulação mística acerca dos números e a da ciência matemática. O mesmo erro, pecado venial no caso de Burtt, foi feito pelo seu crítico, E. W. Strong (*Procedures and Metaphysics*, Berkeley, Cal., 1936), e no seu caso foi um pecado mortal. Sobre a distinção dos dois platonismos, cf. L. Brunschvicg, *Les Étapes de la philosophie mathématique*, Paris, 1922, pp. 69 e segs., e *Le Progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, Paris, 1937, pp. 37 e segs.

ele próprio o afirma. Nas primeiras páginas do *Diálogo*, Simplicio observa que Galileu, por ser matemático, experimenta provavelmente simpatia pelas especulações numéricas dos pitagóricos. Isto permite a Galileu declarar que as considera totalmente desprovidas de sentido e dizer ao mesmo tempo: «Sei perfeitamente bem que os pitagóricos tinham a mais alta estima pela ciência dos números e que o próprio Platão admitia a inteligência do homem e acreditava que este participa da divindade pela única razão de ser capaz de compreender a natureza dos números. Eu próprio me sinto inclinado a produzir o mesmo juízo.»⁶⁵

Como poderia ter opinião diferente aquele que acreditava que, no conhecimento matemático, o espírito humano atinge a própria perfeição do entendimento divino? Não afirma ele que, «sob a relação de *extensão*, isto é, em ligação com a multiplicidade das coisas a conhecer, que é infinita, o espírito humano é como um nada (mesmo se compreendesse um milhar de proposições, porque um milhar comparado com a infinidade é como um zero): mas, sob a relação de *intensidade*, no que este termo significa de apreender intensamente, isto é, perfeitamente, uma dada proposição, digo que o espírito humano compreende algumas proposições tão perfeitamente e tem delas uma certeza tão absoluta quanto a da própria natureza; a esta espécie pertencem as ciências matemáticas puras, isto é, a geometria e a aritmética, acerca das quais o espírito divino conhece, bem entendido, infinitamente mais proposições, pela simples razão de que as conhece

⁶⁵ *Dialogo*, p. 35.

todas; mas, quanto ao pequeno número que o espírito humano compreende, creio que o nosso conhecimento iguala o conhecimento divino em certeza objectiva, porque consegue compreender a sua necessidade, para além da qual não parece poder existir certeza maior»⁶⁶.

Galileu teria podido acrescentar que o entendimento humano é uma obra de Deus tão perfeita que *ab initio* está de posse destas ideias claras e simples, cuja própria simplicidade é garantia de verdade, e que lhe basta voltar-se para si próprio para encontrar na sua «memória» os verdadeiros fundamentos da ciência e do conhecimento. O alfabeto, isto é, os elementos da linguagem — a linguagem matemática — que a natureza criada por Deus fala. É necessário encontrar o verdadeiro fundamento de uma ciência *real*, uma ciência do mundo *real*, não de uma ciência que atinja apenas a verdade puramente formal, a verdade intrínseca do raciocínio e da dedução matemática, uma verdade que não seja afectada pela não existência na natureza dos objectos que estuda; é evidente que Galileu, tal como Descartes, se consideraria insatisfeito com tal *ersatz* de ciência e conhecimento reais.

É acerca desta ciência, o verdadeiro conhecimento «filosófico», que é conhecimento da própria essência do Ser, que Galileu proclama: «E eu digo-vos que, se alguém não conhece a verdade por si próprio, é impossível a quem quer que seja dar-lhe esse conhecimento. Com efeito, é possível ensinar coisas que não são nem verdadeiras nem

⁶⁶ *Dialogo*, pp. 128 e segs.

falsas; mas as verdadeiras — ou seja, as necessárias —, isto é, as que não podem ser de outra maneira, ou qualquer espírito médio as conhece por si mesmo, ou não pode jamais compreendê-las.»⁶⁷ Certamente. Um platónico não pode ter opinião diferente, dado que, para ele, conhecer é compreender.

Nas obras de Galileu, as alusões tão numerosas a Platão e a menção repetida da maiêutica socrática e da doutrina da reminiscência não são ornamentos superficiais, decorrentes do desejo de se conformar com a moda literária saída do interesse que o pensamento renascentista atribui a Platão. Tão-pouco visam ganhar para a nova ciência a simpatia do «leitor médio», fatigado e desgostoso com a aridez da escolástica aristotélica; nem revestir-se contra Aristóteles da autoridade de Platão, seu mestre e rival. Pelo contrário: essas alusões são perfeitamente sérias e devem ser tomadas como tal. Assim, para que ninguém possa ter a menor dúvida quanto ao seu ponto de vista filosófico, Galileu insiste⁶⁸:

SALVIATI — A solução do problema em questão implica o conhecimento de certas verdades que conheceis tão bem como eu. Mas, como não vos lembrais delas, não vedes esta solução. Deste modo, sem vos ensinar, pois que as conheceis já, pelo simples facto de vo-las lembrar, far-vos-ei resolverdes vós próprio o problema.

⁶⁷ *Dialogo*, p. 183.

⁶⁸ *Ibid.*, p. 217.

SIMPLÍCIO — Fui muitas vezes surpreendido pela vossa maneira de raciocinar, que me faz pensar que tendeis para a opinião de Platão, *nostrum scire sit quoddam reminisci*; peço-vos, libertai-me desta dúvida e dizei-me o vosso próprio pensamento.

SALVIATI — O que penso desta opinião de Platão posso explicá-lo por palavras, mas também por factos. Nos argumentos avançados até agora expliquei-me mais de uma vez por meio de factos. Agora desejo aplicar o mesmo método à pesquisa em curso, pesquisa que pode servir de exemplo para vos ajudar a compreender mais facilmente as minhas ideias quanto à aquisição da ciência...

A pesquisa «em curso» mais não é que a dedução das proposições fundamentais da mecânica. Estamos prevenidos de que Galileu julga ter ido mais longe do que dizer-se simplesmente adepto e seguidor da epistemologia platónica. Além disso, ao aplicar esta epistemologia, ao descobrir as verdadeiras leis da física, ao fazê-las deduzir por Sagredo e Simplicio, isto é, *pelo próprio leitor*, por nós, crê ter demonstrado a verdade do platonismo «de facto». O *Diálogo* e os *Discursos* dão-nos a história de uma experiência intelectual — de uma experiência concludente, uma vez que se conclui com o reconhecimento, cheio de lamentos do aristotélico Simplicio, da necessidade de estudar as matemáticas e da sua pena em não as ter estudado, ele próprio, na sua juventude.

O *Diálogo* e os *Discursos* falam-nos da história da descoberta, ou, melhor ainda, da redescoberta da linguagem falada pela natureza. Expli-

cam-nos a maneira de a interrogar, isto é, a teoria desta experimentação científica, na qual a formulação dos postulados e a dedução das suas consequências precedem e guiam o recurso à observação. Isto é também, pelo menos para Galileu, uma prova «de facto». A ciência nova é, para ele, uma prova experimental do platonismo.

Do Mundo do «mais ou menos» ao Universo da Precisão*

* *Critique*, n.º 28, 1948 (a propósito das obras: Lewis Mumford, *Technics and Civilisation*, 4.ª ed., Nova Iorque, Harcourt, 1946; Willis L. Milham, *Time and Timekeepers*, Nova Iorque, MacMillan, 1945; L. Défossez, *Les Savants du XVII^e siècle et la mesure du temps*, Lausana, ed. do *Journal suisse d'Horlogerie et de Bijouterie*, 1946; Lucien Febvre, *Le Problème de l'incroyance au XVI^e siècle*, 2.ª ed., Albin Michel, col. «L'Évolution de l'Humanité», 1946).

Num artigo publicado na *Critique*¹ afirmei que o problema da origem do mecanicismo, considerado no seu duplo aspecto, a saber: *a*) por que razão o mecanicismo nasceu no século XVII e *b*) por que motivo não nasceu vinte séculos mais cedo, nomeadamente na Grécia, não tem uma solução satisfatória, isto é, uma solução que não nos remeta simplesmente para o facto (duvido, aliás, que em história se possa alguma vez eliminar o facto). Mas, em contrapartida, é possível, parece-me, esboçar-lhe uma solução de conveniência, uma solução que nos faça ver, ou compreender, que a ciência grega não *podia* dar lugar a uma verdadeira tecnologia. Isto porque, na ausência de uma física, uma tecnologia é rigorosamente inconcebível. Ora a ciência grega não elaborou qualquer física, e não poderia fazê-lo porque, na constituição desta, a estática deve preceder a dinâmica: Galileu é impossível antes de Arquimedes.

¹ Cf. *Critique*, n.ºs 23 e 26 *supra*, pp. 305 e segs.

Podemos, sem dúvida, interrogar-nos por que razão a antiguidade não produziu um Galileu... Mas isso equivale a retomar o problema da paragem, tão brusca, do magnífico ímpeto da ciência grega: por que motivo cessou o seu desenvolvimento? Por causa da ruína da *polis*? Da conquista romana? Da influência cristã? Talvez. Todavia, nesse intervalo, Euclides e Ptolomeu puderam muito bem viver e trabalhar no Egipto. Realmente, nada se opõe a que Copérnico e Galileu lhes tivessem sucedido directamente.

Mas regressemos ao nosso problema. A ciência grega, como já disse, não constituiu uma verdadeira tecnologia², porque não elaborou uma física. Mas por que motivo, mais uma vez, o não fez? Segundo toda a aparência, porque não procurou fazê-lo. E isso, sem dúvida, porque acreditava que tal não era realizável.

Com efeito, fazer física no *nosso* sentido do termo — e não naquele dado a esse vocábulo por Aristóteles — quer dizer aplicar ao real as noções rígidas, exactas e precisas das matemáticas e, antes de mais, da geometria. Um empreendimento paradoxal, se fosse levado a cabo, porque a realidade, a da vida quotidiana, no meio da qual vivemos e estamos, não é matemática. Nem mesmo matematizável. É do domínio do mutável, do impreciso, do «mais ou menos», do «aproximadamente». Ora,

² A ciência grega lançou, por certo, no seu estudo dos «cinco poderes» (as máquinas simples), as bases da tecnologia. Nunca a desenvolveu. Portanto, a técnica antiga permaneceu no estágio pré-tecnológico, pré-científico, apesar da incorporação de numerosos elementos da ciência geométrica e mecânica (estática) na *technê*.

na prática, importa muito pouco saber se — como no-lo diz Platão, ao fazer da matemática a ciência por excelência — os objectos da geometria possuem uma realidade mais elevada do que a dos objectos do mundo sensível; ou se — como no-lo ensina Aristóteles, para quem a matemática não é senão uma ciência secundária e abstracta — eles não têm mais do que um ser «abstracto», de objectos do pensamento: em ambos os casos, entre a matemática e a realidade física existe um abismo. Daí resulta que querer aplicar a matemática ao estudo da natureza é cometer um erro e um contra-senso. Não há na natureza círculos, elipses ou linhas rectas. É ridículo querer medir com exactidão as dimensões de um ser natural: o cavalo é, sem dúvida, maior que o cão e mais pequeno do que o elefante, mas nem o cão, nem o cavalo, nem o elefante têm dimensões estrita e rigidamente determinadas: há, por todo o lado, uma margem de imprecisão, de «jogo», de «mais ou menos» e de «aproximadamente»³.

Eis as ideias (ou as atitudes) às quais o pensamento grego permaneceu obstinadamente fiel, quaisquer que fossem as filosofias de onde as deduzia.

³ Que foi assim, não somente no domínio das ciências biológicas, mas também no da física, foi, como sabemos, a opinião de Leibniz («Lettre à Foucher», cerca de 1668, in *Philosophische Schriften*, ed. Gerhardt, vol. I, p. 392: «Considero demonstrável não haver figura exacta nos corpos») e, mais perto de nós, de Émile Boutroux e Pierre Duhem, que insistiram no carácter de aproximação das leis estritas da mecânica racional. Cf. G. Bachelard, *La Formation de l'esprit scientifique*, Paris, 1927, p. 216, e os meus *Études galiléennes*, Paris, 1939, pp. 272 e segs.

Nunca quis admitir que a exactidão pudesse ser deste mundo, que a matéria deste mundo, do nosso mundo, do mundo sublunar, pudesse encarnar os seres matemáticos (excepto no facto de a isso ser forçada pela arte)⁴. Admitia, em contrapartida, que as coisas se passassem de outro modo nos céus, que os movimentos absolutos e perfeitamente regulares das esferas e dos astros fossem conformes às leis da mais estrita e rígida geometria. Mas, justamente, os céus não são a Terra. E, por isso, a astronomia matemática é possível, mas a física matemática não o é. Desse modo, a ciência grega não só constituiu uma cinemática celeste, mas ainda, para o fazer, observou e mediu o céu com uma paciência e exactidão surpreendentes, servindo-se de cálculos e de instrumentos de medida que herdou ou inventou. Mas, por outro lado, nunca tentou matematizar o movimento terrestre e — com uma única excepção —⁵ empregar na Terra um instrumento de medida e mesmo medir exactamente o que quer que fosse para além das distâncias. Ora é através do instrumento de medida, que a ideia da exactidão toma posse deste mundo e que o mundo da precisão consegue, por fim, substituir o mundo do «aproximadamente».

⁴ Nada é mais preciso do que o desenho da base, ou do capitel, ou do perfil de uma coluna grega: nada é melhor calculado — nem com mais cuidado — do que as suas distâncias respectivas. Mas é a arte que os impõe à natureza. Passa-se o mesmo no que respeita à determinação das dimensões das rodas dentadas ou dos elementos duma balista.

⁵ Vitruvius transmite-nos o desenho de um teodolito, que permite medir os ângulos horizontais e verticais e, portanto, determinar distâncias e alturas. A medida exacta existe também no que respeita à pesagem dos metais preciosos.

Nada me parece revelar de modo mais marcante a oposição radical entre mundo celeste e mundo terrestre — mundo da precisão e mundo do mais ou menos — do que, para o pensamento grego, a incapacidade de este último ultrapassar essa dualidade radical, concebendo uma medida unitária de tempo. Porque, se é verdade que os *organa e kronou* do céu, se a abóbada celeste, com as suas revoluções uniformes, cria, ou determina, divisões rigorosamente iguais do tempo, se, por esse motivo, o dia sideral tem uma duração perfeitamente constante, o mesmo não se passa com o tempo da Terra, com o nosso tempo. Para nós, o dia solar decompõe-se num dia e numa noite de duração essencialmente variável, dia e noite subdivididos num número igual de horas, de duração igualmente variável, mais ou menos longos, ou mais ou menos curtos, segundo a estação. Esta concepção está tão profundamente ancorada na consciência e na vida gregas que — supremo paradoxo! — o quadrante solar, instrumento que transmite à Terra a mensagem do movimento dos céus, se encontra afastado da sua função primária e vêmo-lo obrigado a marcar as horas mais ou menos longas do mundo do «mais ou menos».

Ora, se pensarmos que a noção do movimento está inseparadamente ligada à de tempo, que foi na e por uma nova concepção de movimento que se realizou a revolução intelectual que deu lugar ao nascimento da ciência moderna, no seio da qual a precisão do céu desceu sobre a Terra, compreender-se-á bem que a ciência grega, mesmo a de Arquimedes, não pudesse ter fundado uma dinâmica. E também que a técnica grega não foi possível ultrapassar o nível da *technê*.

A história da Idade Média dá-nos provas evi-

dentes de que o pensamento técnico do senso comum não depende do pensamento científico, o qual pode, contudo, absorver os elementos, incorporando-os no senso comum⁶; que pode desenvolver, inventar e adaptar descobertas antigas a necessidades novas e até mesmo fazer outras; que, guiado e estimulado pela experiência e pela acção, pelos sucessos e pelos falhanços, pode transformar as regras da *techné*; que pode até criar e desenvolver quer utensílios, quer máquinas; que, com meios frequentemente rudimentares e servido pela habilidade dos que os empregam, pode criar obras cuja perfeição (sem falar da beleza) ultrapassa de longe a dos produtos da técnica científica (sobretudo no seu começo). Com efeito, como no-lo diz Lucien Febvre num trabalho que, ainda que apenas o faça de passagem, me parece de uma importância capital para a história da técnica⁷: «Já não falamos, hoje em dia, da Noite da Idade Média, e isso de há uns tempos para cá, nem do Renascimento, que na postura do arqueiro vencedor lhe dissipou as trevas para sempre. E isto porque, tendo prevalecido o bom senso, já não seríamos capazes de acreditar realmente nessas férias totais

⁶ O senso comum não é algo de absolutamente constante: nós já não vemos a abóbada celeste. O mesmo se passa com o pensamento técnico tradicional, as regras das profissões: a *techné* pode absorver — e fá-lo no decurso da sua história — os elementos do saber científico. Há muito de geometria (e um pouco de mecânica) na *techné* de Vitruvius; também existe outro tanto, ou quase, nos mecânicos, nos construtores, nos engenheiros e nos arquitectos medievais. Sem falar dos do Renascimento.

⁷ L. Febvre, *Le Problème de l'incroyance au XVI^e siècle*, 2.^a ed., Paris, 1946.

de que antes nos falavam: férias da curiosidade humana, férias do espírito de observação e, se assim o quisermos, da invenção. E porque nos convençamos finalmente de que a uma época que tinha tido arquitectos da envergadura dos que conceberam e construíram as nossas grandes basílicas romanas: Cluny, Vézelay, Saint-Sernin, etc., e as nossas grandes catedrais góticas: Paris, Chartres, Amiens, Reims, Bourges; e as poderosas fortalezas dos grandes barões: Coucy, Pierrefonds, Château-Gaillard, com todos os problemas de geometria, de mecânica, de transporte, de suspensão, de manutenção que tais edificios acarretam, todo o tesouro de experiências bem conseguidas e de insucessos registados que este trabalho exige e alimenta — a uma tal época era irrisório negar, em bloco e sem discriminação, o espírito de observação e o espírito de inovação. Se os observarmos atentamente, os homens que inventaram ou reinventaram, ou adoptaram e implantaram na nossa civilização do Ocidente o arreio dos cavalos pelo arnez, as ferragens, o estribo, o botão, o moinho de água e de vento, a plaina, a roda dentada, a bússola, a pólvora, o papel, a imprensa, etc. — esses homens mereceram bem ser considerados com espírito de invenção e humanidade.»

Ora os homens dos séculos XV e XVI que inventaram o numerador e a roda de escape, que aperfeiçoaram as artes do fogo — e as armas de fogo —, que obrigaram a metalurgia e a construção naval a fazer progressos enormes e rápidos, que descobriram o carvão e subjugarão a água, segundo as necessidades da sua indústria, não foram, é bom que se diga, inferiores aos seus predecessores. É o espectáculo deste progresso, deste acumular de in-

venções, de descobertas (e, portanto, de um certo saber) que nos explica — e justifica parcialmente — a atitude de Bacon e dos seus sucessores, que opõem a fecundidade da inteligência prática à esterilidade da especulação teórica. São estes progressos, sobretudo os que foram feitos na construção das máquinas, que, como sabemos, servem de base ao optimismo tecnológico de Descartes; mais ainda: servem de fundamento à sua concepção do mundo, à sua doutrina do mecanismo universal.

Mas, enquanto Bacon conclui que a inteligência se deve limitar ao registo, à classificação e à ordenação dos factos do senso comum e que a ciência (Bacon nunca compreendeu nada da ciência)⁸ não é ou não deve ser mais do que um resumo, generalização ou prolongamento do saber adquirido na prática, Descartes, por seu lado, tem uma conclusão exactamente oposta, a saber, a da possibilidade de fazer a teoria penetrar a acção, isto é, a possibilidade da *conversão* da inteligência teórica em real, da possibilidade, a um tempo, de uma *tecnologia* e de uma *física*. Possibilidade essa que encontra a sua expressão e garante no próprio facto de o acto de inteligência — que, ao decompor e recompor uma máquina, lhe *compreende* a organização, bem como a estrutura e funcionamento das suas múltiplas engrenagens — ser exactamente análogo àquele pelo qual, decompondo uma equação nos seus factores, lhe compreendemos a estrutura e a composição. Ora não é do desenvolvimento espontâneo das artes industriais pelos que as exercem, mas sim da conversão da teoria em prática, que Descartes

⁸ Recordemos o que William Gilbert disse dele: «He writes philosophy like a Lord Chancellor.»

espera os progressos que tornarão o homem «senhor e dono da natureza».

Creio, por meu lado, que a história, ou, pelo menos, a pré-história da revolução técnica dos séculos XVII e XVIII, confirmam a concepção cartesiana: é por uma conversão da *epistêmê* na *technê* que a máquina eotécnica⁹ se transforma na máquina moderna (paleotécnica); porque é esta conversão, por outras palavras, a tecnologia nascente, que dá à segunda o que forma o seu próprio carácter e a distingue radicalmente da primeira, e que mais não é do que a *precisão*.

Com efeito, quando estudamos os livros de máquinas dos séculos XVI e XVII¹⁰, quando fazemos a análise das máquinas (reais ou simplesmente projectadas) de que nos oferecem descrições e desenhos, somos surpreendidos pelo carácter aproximativo das suas estruturas, do seu funcionamento, da sua concepção. São frequentemente descritas com as suas dimensões (reais) exactamente medidas. Pelo contrário, nunca são «calculadas». Portanto, a diferença entre as que são irrealizáveis e as que foram realizadas não consiste no facto de as primeiras terem sido «mal calculadas», ao passo que as outras não. Todas — à excepção talvez dos aparelhos de suspensão e de mais algumas, como o moinho, que empregavam como meios de transmissão de força motriz ligações de rodas dentadas,

⁹ Emprego a terminologia, extremamente sugestiva, de Lewis Mumford, *Technics and Civilisation*, 4.^a ed., Nova Iorque, 1946.

¹⁰ Encontra-se um resumo muito bem organizado desta literatura na obra de Th. Beck *Beiträge zur Geschichte des Maschinenbaus*, Berlim, 1900.

meios que *convidam* positivamente ao cálculo — foram concebidas e executadas «a olho», «por estimativa». Todas pertencem ao mundo do «aproximadamente». Eis a razão por que as operações mais grosseiras da indústria, tais como bombear a água, moer o trigo, prensar a lã, accionar os foles das forjas, podem ser confiadas a máquinas. As operações mais finas não se executam senão com a mão do homem. E com a sua força.

Acabei de dizer que as máquinas eotécnicas não eram «calculadas». E como poderiam sê-lo? Não esqueçamos, ou, melhor, dêmo-nos conta de que o homem do Renascimento, o homem da Idade Média (e o mesmo pode ser dito do homem antigo), não sabiam calcular. Não estavam habituados a fazê-lo. Não tinham meios para o fazer. Sem dúvida sabiam ¹¹ muito bem executar cálculos astronómicos, dado que a ciência antiga elaborara e desenvolvera os métodos e os meios apropriados; mas ¹² não sabiam — uma vez que a ciência antiga pouco ou nada se importara com isso — executar cálculos numéricos ¹³. Tal como no-lo recorda L. Febvre, não dispunham de «qualquer espécie de linguagem algébrica». Nem sequer de linguagem aritmética, cómoda, regular e moderna. O uso dos algarismos a que chamamos *árabes* porque são indianos — o uso dos algarismos *Gobar*, que vieram de Espanha ou

¹¹ Os astrónomos sabiam-no.

¹² O comum dos mortais. Mesmo as pessoas instruídas.

¹³ A ciência grega não desenvolveu a «logística». O que não impediu que Arquimedes calculasse o número de π com uma aproximação de uma precisão surpreendente. Mas tratava-se de matemáticos. E os cálculos tinham um valor científico. Para os usos da vida quotidiana era-se menos exigente: calculava-se com fichas.

da Barbárie, na Europa ocidental estava longe de ser geral, ainda que os mercadores italianos deles tivessem conhecimento desde o século XIII ou XIV. Se o uso destes símbolos cómodos se expandiu rapidamente nos calendários para eclesiásticos e nos almanaques para astrólogos e médicos, depa-rou-se-lhe, na vida corrente, uma viva resistência dos algarismos romanos, minúsculos, ligeiramente modificados, a que se chamava *algarismos de finança*. Apareciam agrupados em categorias separadas por pontos: dezenas ou vintenas encabeçadas por dois XX, centenas por um C e milhares por um M; tudo tão mal feito quanto possível, mas, mesmo assim, permitindo proceder a uma qualquer operação aritmética elementar.

«Também nada de operações à mão, operações que nos parecem tão cómodas e simples e que aos homens do século XVI pareciam ainda monstruosamente difíceis e boas apenas para a *élite* matemática. Antes de sorrirmos, lembremos que Pascal, em 1645 [...], insistia, na dedicatória da sua máquina de calcular ao chanceler Séguier, na extrema dificuldade das operações feitas à mão. Não somente obrigam permanentemente 'a conservar ou pedir as somas necessárias', donde decorrem inúmeros erros [...], mas, além disso, exigem do infeliz calculador 'uma atenção profunda, que fatiga o espírito em pouco tempo'. Com efeito, no tempo de Rabelais contava-se, antes de mais e quase exclusivamente, com a ajuda dessas letras do tesouro que deixaram do outro lado da Mancha o seu nome aos ministros do Tesouro e com as fichas que o Antigo Regime manipulou, com maior ou menor destreza, até ao seu declínio.»

Os cálculos são certamente difíceis. Portanto,

ninguém os faz. Ou, pelo menos, fazem-se tão poucos quanto possível. E os enganos são frequentes, ninguém se preocupando muito com eles. Um pouco mais, um pouco menos, que importância tem isso? Nenhuma, geralmente, não há que duvidar. Entre a mentalidade do homem da Idade Média (e, em geral, do homem do «aproximadamente») e a nossa há uma diferença fundamental. Citemos de novo L. Febvre: o homem que não calcula, que «vive num mundo em que as matemáticas são ainda elementares, não tem a razão formada da mesma maneira que o homem mesmo ignorante, mesmo incapaz de, por si próprio, resolver uma equação ou de fazer um problema mais ou menos complicado, mas que vive numa sociedade subordinada, no seu conjunto, ao rigor dos modos de raciocínio matemático, à precisão dos modos de calcular, à correcção elegante das maneiras de demonstrar».

«Toda a nossa vida moderna está como que impregnada de matemática. Os actos quotidianos e as construções dos homens trazem-lhe a marca — e nem sequer as nossas alegrias artísticas e a nossa vida moral escapam à sua influência.» Nenhum homem do século XVI poderia subscrever estas verificações de Paul Montel. Elas não nos admiram, mas tê-lo-iam, com razão, deixado totalmente incrédulo.

Coisa curiosa: dois mil anos antes, Pitágoras proclamara que o número é a própria essência das coisas; e a *Bíblia* ensinara que Deus fundara o mundo sobre «o número, o peso, a medida». Todos o repetiram — mas ninguém o acreditou. Pelo menos ninguém, até Galileu, o tomou a sério. Ninguém tentou determinar estes números, estes pesos e estas medidas. Ninguém se deu ao trabalho de

contar, de pesar e de medir. Ou, mais exactamente, nunca ninguém procurou ultrapassar o uso prático do número, do peso, da medida, na imprecisão da vida quotidiana — contar os meses e os animais, medir as distâncias e os campos, pesar o ouro ou o trigo —, para fazer dele um elemento do saber exacto.

Creio que não chega dizer, com L. Febvre, que, para o fazer, o homem da Idade Média e o do Renascimento não possuíam os instrumentos materiais e mentais. É sem dúvida verdade, e de uma importância capital, que «a utilização dos instrumentos mais usuais hoje em dia, os mais familiares e, aliás, os mais simples continuava a ser-lhes desconhecida. Para observar, nada melhor que os seus dois olhos, quando muito, servidos, se necessário, por óculos forçosamente rudimentares (nem o estado da óptica, nem o da vidraria lhe permitiriam seguramente outros). Lentes de vidro ou de cristal talhado e próprias para aumentar os objectos muito afastados, como os astros, ou muito pequenos, como os insectos ou os germes». É igualmente verdade que não são apenas os instrumentos de medida que faltam, mas a linguagem que teria podido servir para lhes exprimir os resultados: «Nem nomenclatura clara e bem definida, nem padrões de uma exactidão garantida, adoptados por todos com um alegre consentimento. Havia uma multidão incoerente de sistemas de medidas variáveis de cidade para cidade, de aldeia para aldeia, quer se tratasse de comprimento, de peso ou de volume. Quanto a registar as temperaturas, era impossível: o termómetro ainda não tinha surgido. E não surgiria antes de bastante tempo.»

Podemos interrogar-nos, contudo, sobre se esta

dupla carência não se poderá explicar pela mentalidade característica, pela estrutura geral do «mundo do aproximadamente». Ora, a este respeito, o caso da alquimia parece fornecer-nos uma resposta decisiva. Com efeito, no decurso da sua existência milenar, a única entre as ciências das coisas terrestres pôde constituir um vocabulário, uma notação e mesmo um instrumental de que a nossa química recebeu e conservou a herança. Acumulou tesouros de observações, realizou milhares de experiências, fez mesmo descobertas importantes. Nunca conseguiu fazer uma experiência precisa porque nunca o tentou. As descrições das operações alquímicas nada têm de comum com as fórmulas dos nossos laboratórios; são receitas de cozinha, tão imprecisas, tão aproximativas e qualitativas como aquelas. E não é a impossibilidade material de executar as medidas que detém o alquimista; ele não se serve delas, mesmo quando as tem à mão. Não é o termómetro que lhe falta, é a ideia de que o calor seja susceptível de medida exacta. Assim, contenta-se com os termos do senso comum: fogo vivo, fogo lento, etc., e não se serve, ou quase nunca, da balança. E, todavia, a balança existe; ela própria — a dos ourives e joalheiros — relativamente precisa. É justamente por isso que o alquimista a não usa. Se a usasse, seria um químico. Mais: para que se lembrasse de a usar teria sido necessário que já o fosse.

Ora acredito que se passa algo de semelhante no que respeita aos instrumentos ópticos. E com todos os outros. Portanto, estando o mais de acordo possível com L. Febvre sobre a *importância* da sua ausência, não estou inteiramente satisfeito com a explicação que aquele dela apresenta.

Com efeito, tal como no-lo recorda o próprio L. Febvre, os óculos encontram-se em uso desde o século XIII, talvez mesmo depois de fins do século XII. A lupa ou o espelho côncavo foram, sem dúvida, conhecidos na antiguidade. Então por que razão, durante quatro séculos — o telescópio é de começos do século XVII —, ninguém, nem dentre aqueles que os faziam, nem dentre os que os usavam, teve a ideia de experimentar talhar, ou mandar talhar, uma lente um pouco mais espessa, com uma curva de superfície mais pronunciada, e chegar assim ao microscópio simples, que não aparece senão cerca do começo do século XVII, ou no fim do século XVI? Não podemos, parece-me, invocar o estado da vidraria. Não era notável e os vidreiros do século XIII, e mesmo do século XIV, deveriam ser incapazes de fabricar um telescópio (muito mais tarde, durante toda a primeira metade do século XVII, os vidreiros italianos serão os únicos a poder, ou a saber, talhar lentes astronómicas¹⁴ e é só na segunda metade que vêm a ser alcançados, e por vezes ultrapassados, pelos Holandeses e Alemães). Mas o mesmo não se passou com o microscópio simples, que mais não é do que uma pérola de vidro bem polida: um operário capaz de talhar as lentes dos óculos é *ipso facto* capaz de fazer um microscópio. Mais uma vez não se trata de insuficiência técnica, é a falta da ideia que nos fornece a explicação¹⁵.

¹⁴ Foi Galileu que os ensinou a fazê-lo.

¹⁵ Não se olha enquanto não se sabe se há alguma coisa a ver, e sobretudo se sabemos que não há nada a ver. A inovação de Leeuwenhoek consiste principalmente na sua decisão de olhar.

A falta da ideia também não quer dizer insuficiência científica. Sem dúvida, a óptica medieval (tal como a óptica grega) — se bem que Al-Hazen e Witello a tivessem obrigado a fazer progressos significativos — conhecia *o facto* da refacção da luz, embora não lhe conhecesse as leis: não é senão com Kepler e Descartes que a óptica física nasce verdadeiramente. Mas, a bem dizer, Galileu não sabia muito mais que Witello; apenas um pouco mais para, tendo concebido a ideia, ser capaz de a realizar.

Além disso, nada há mais simples que um telescópio, ou, pelo menos, que um óculo de longo alcance¹⁶. Para os construir não é necessária ciência, nem lentes especiais, não sendo precisa portanto uma técnica desenvolvida: duas lentes de óculos, colocadas uma após outra — e eis um óculo de longo alcance. Ora, por mais estranho e inacreditável que pareça, durante quatro séculos ninguém tivera a ideia de ver o que aconteceria se, em lugar de utilizar um par de óculos, fossem usados simultaneamente dois.

É que o fabricante de óculos não era, de modo algum, um *óptico*: era um *artesão* que não fazia um *instrumento óptico*, mas sim um *utensílio*. Portanto, fazia-o de acordo com as regras tradicionais da profissão e não procurava fazer outra coisa. Há talvez uma verdade muito profunda na tradição — possivelmente lendária — que atribui a invenção do primeiro óculo de longo alcance ao *acaso*, à *brincadeira* do filho de um oculista holandês.

¹⁶ O óculo de longo alcance não é um telescópio: ter transformado o primeiro no segundo é justamente o mérito de Galileu.

Ora, para o homem que os usava, os óculos não eram também um *instrumento óptico*. Eram igualmente um utensílio. Um utensílio, isto é, qualquer coisa que, tal como já tinha visto, e muito bem, o pensamento antigo, prolonga e reforça a acção dos nossos membros, dos nossos órgãos dos sentidos; qualquer coisa que pertence ao mundo do senso comum. E que nunca pode levar-nos a ultrapassá-lo; quando, pelo contrário, a própria função do instrumento não é um prolongamento dos sentidos, mas, na acepção mais forte e mais literal do termo, uma encarnação do espírito e uma materialização do pensamento.

Nada nos revela melhor esta diferença fundamental do que a história da construção do telescópio por Galileu. Enquanto os Lippertshey e os Janssen, que haviam descoberto, por um feliz acaso, a combinação de vidros que forma o óculo de longo alcance, se limitavam a fazer os aperfeiçoamentos indispensáveis e de certo modo inevitáveis (tubo, ocular móvel) aos seus óculos reforçados, Galileu, logo que teve notícia da luneta de aproximação holandesa, elaborou-lhe a teoria. E foi a partir desta teoria, sem dúvida insuficiente, mas *teoria* apesar de tudo, que, levando cada vez mais longe a precisão e o poder dos seus vidros, construiu a série das suas *perspicilles*, que lhe abriram aos olhos a imensidade do céu.

Os oculistas holandeses não fizeram nada de semelhante, porque, justamente, não tinham a ideia do *instrumento* que inspirava e guiava Galileu. Deste modo, a finalidade procurada — e atingida — por ele e por aqueles era inteiramente diferente. A luneta holandesa é um aparelho com um sentido prático: permite-nos ver, a uma distância que ultra-

passa a da vista humana, o que lhe é acessível a uma distância menor. Não vai mais longe, não pretende ir mais além — e não foi por acaso que nem os inventores, nem os utentes da luneta holandesa se serviram dela para observar o céu. Pelo contrário, foi para responder a necessidades puramente teóricas, para atingir *o que não cai na alçada dos nossos sentidos*, para ver o que ninguém jamais viu, que Galileu construiu os seus instrumentos: o telescópio e depois o microscópio. Para ele, o uso prático dos aparelhos que encantaram os burgueses e os patrícios de Veneza e de Roma não é mais que um subproduto. Ora, por ricochete, a pesquisa deste fim puramente teórico produziu resultados de importância decisiva para o nascimento da técnica moderna, da técnica de precisão. Pois, para fazer aparelhos ópticos é necessário não apenas melhorar a qualidade dos vidros que se empregam, como determinar-lhes — isto é, *medir* primeiro e *calcular* depois — os ângulos de refração. É preciso melhorar ainda o seu corte, isto é, saber dar-lhes uma forma precisa, uma *forma* geométrica exactamente definida; e, para o fazer, é necessário construir máquinas cada vez mais *precisas*, máquinas matemáticas, que, tal como os próprios instrumentos, pressupõem a substituição, no espírito dos seus inventores, do universo do aproximadamente¹⁷ pelo universo da precisão. Por conseguinte, não

¹⁷ Foi com a invenção dos instrumentos científicos — e o seu fabrico — que se realizou o progresso técnico e tecnológico que precedeu, e tornou possível, a revolução. Acerca do fabrico de instrumentos científicos cf. Daumas, *Les Instruments scientifiques aux XVII^e et XVIII^e siècles*, Paris, 1953.

foi de modo algum por acaso que o primeiro instrumento óptico foi inventado por Galileu e a primeira máquina moderna destinada a talhar vidros parabólicos por Descartes.

Ora, se é na e pela invenção do instrumento óptico que se efectua a penetração e se estabelece a intercomunicação entre os dois mundos — o mundo da precisão astral e o do aproximadamente do mundo cá de baixo —, se é por esse canal que se opera a fusão da física celeste com a física terrestre, é por outro ângulo que a noção de precisão acaba por se introduzir na vida quotidiana, se incorpora nas relações sociais e transforma, ou pelo menos modifica, a estrutura do próprio senso comum: refiro-me ao *cronómetro* — o instrumento de medir o tempo.

Os aparelhos de medir o tempo não aparecem senão muito tarde na história da humanidade¹⁸. E isso compreende-se porque, ao contrário do espaço, que, sendo essencialmente mensurável, sendo talvez a própria essência do mensurável, não se nos oferece a não ser como qualquer coisa *a medir*, o tempo, sendo essencialmente não mensurável, nunca se nos apresenta senão como provido *já* de uma medida natural, cortado *já* em fatias pela sucessão das estações e dos dias, pelo movimento — e os movimentos — do relógio celeste, que a natureza providente teve o cuidado de pôr à nossa disposição. Fatias um pouco espessas, sem dúvida. E bastante mal definidas, imprecisas, de duração desigual: mas que importância pode isso ter no quadro da vida primitiva, da vida nómada,

¹⁸ Willis Milham, *Time and timekeepers*, Nova Iorque, 1945.

ou mesmo da vida agrícola? A vida desenrola-se entre o erguer e o pôr do Sol, com o meio-dia como ponto de divisão. Um quarto de hora, ou mesmo uma hora a mais ou a menos não mudam absolutamente nada. É apenas a civilização urbana, evoluída e complexa, que, por exigências precisas da sua vida pública e religiosa, pode vir a sentir a necessidade de saber a hora, de medir um intervalo de tempo. É só então que surgem os relógios. Ora, mesmo nessa altura, na Grécia como em Roma, a vida quotidiana escapa à precisão — muito relativa, aliás — dos relógios. A vida quotidiana move-se no aproximadamente do tempo vivido.

O mesmo se passa na Idade Média e mais tarde ainda. Sem dúvida, a sociedade medieval tem sobre a antiga a insigne vantagem de haver abandonado a hora variável e de a ter substituído por uma hora de valor constante. Mas não sente grande necessidade de conhecer melhor esta hora. Perpetua, como muito bem no-lo diz L. Febvre, «os hábitos de uma sociedade de camponeses, que aceitam nunca saber a hora certa senão quando o sino toca (supondo-o bem regulado) e que para o resto se limitam a observar as plantas e os animais, o voo de certo pássaro e o canto de tal outro». «Cerca do nascer do Sol», ou então «cerca do pôr do Sol».

A vida quotidiana está dominada pelos fenómenos naturais, pelo nascer e pôr do Sol — levantam-se cedo e não se deitam tarde — ¹⁹, e o dia é marcado, mais que medido, pelo toque dos sinos que anunciam «as horas» — as horas dos serviços religiosos muito mais do que as do relógio.

Certos historiadores, e não dos menores, insis-

¹⁹ As pessoas não sabem iluminar-se.

tiram, aliás, na importância social desta sucessão regular dos actos e cerimónias da vida religiosa, que, sobretudo nos conventos, submetia a vida ao ritmo rígido do culto católico; ritmo que requeria, e exigia mesmo, a divisão do tempo em intervalos estritamente determinados e que, portanto, implicava a sua medida. Foi nos mosteiros, e por necessidades do culto, que terão nascido e se terão propagado os relógios, e terá sido este hábito da vida monástica, o hábito de se conformar com a hora, que, difundindo-se em redor da muralha conventual, impregnou e informou a vida cidadina, fazendo-a passar do plano do tempo vivido ao do tempo medido.

Há, sem dúvida, algo de verídico no que acabo de expor, bem como na famosa *boutade* do abade de Thélème: «As horas são feitas para o homem, e não o homem para as horas», citada, muito a propósito, por L. Febvre. Sentimos aqui perpassar o vento da revolta do homem natural contra a imposição da ordem e a escravatura da regra. E, todavia, não nos deixemos laborar em erro: a ordem e o ritmo não são a medida, o tempo marcado não é o tempo medido. Continuamos ainda no aproximadamente, no mais ou menos; estamos a caminho, mas apenas a caminho do universo da precisão.

Com efeito, os relógios medievais, os relógios de pesos, cuja invenção constitui uma das grandes glórias do pensamento técnico da Idade Média, não eram propriamente precisos, muito menos, em todo o caso, que os relógios de água da antiguidade, pelo menos na época imperial. Eram — e é evidente que isto se aplica muito mais aos relógios dos conventos do que aos das cidade — «máquinas robustas e rudimentares a que era necessário dar

corda várias vezes nas vinte e quatro horas» e que era preciso cuidar e vigiar constantemente. Nunca indicavam as subdivisões da hora, e mesmo as horas indicavam-nas com uma margem de erro que tornava o seu uso praticamente sem valor, mesmo para as pessoas da época, pouco exigentes na matéria. Portanto, não tinham, de modo algum, suplantado aparelhos mais antigos. «Em grande número de casos [as horas] não eram ditas, e aproximadamente, aos vigilantes nocturnos, a não ser por clepsidras de areia ou água que tinham a incumbência de virar. Gritavam do alto das torres as indicações que estas lhes forneciam e os vigias repetiam-nas pelas ruas.»

Ora, se os grandes relógios públicos dos séculos XV e XVI, relógios astronómicos e de figuras que Willis Milham nos descreve tão bem, não são propriamente simples; se, ao mesmo tempo, graças ao emprego do *foliot* e da roda de escape, são sensivelmente mais precisos que as máquinas antigas de movimento contínuo, são, em contrapartida, extremamente raros, porque, graças à sua complexidade, não só são muitíssimo difíceis (e demorados) de construir, como extremamente caros. Tão caros, que apenas as cidades muito ricas, como Bruges ou Estrasburgo, ou o imperador da Alemanha e os reis de Inglaterra e de França — que dotam com eles as suas capitais —, se podem oferecer tal luxo. O mesmo se passa praticamente com os relógios domésticos da época: relógios murais de pesos, simples reduções, bastante grosseiras quanto ao seu mecanismo, dos grandes relógios públicos, relógios portáteis com molas, inventados no começo do século XVI por Pierre Hanlein, de Nuremberga (relógios de mesa e relógios de mostrador). Mas

estes continuam a ser objectos de luxo — até mesmo de grande luxo —, e não de uso prático, pois os pequenos relógios são, com efeito, muito pouco precisos; muito menos precisos ainda, diz-nos W. Milham, que os grandes²⁰. Em contrapartida, são muito belos, muito caros e raros. Como L. Febvre no-lo diz: «Quanto aos particulares, quantos eram aqueles que no tempo de Pantagruel possuíam um 'relógio de mostrador'?» O seu número, para além dos reis e dos príncipes, era ínfimo; sentiam-se orgulhosos e julgavam-se privilegiados os que possuíam, sob o nome de relógio, uma daquelas clepsidras de água, e não de areia, de que Joseph Scaliger faz o elogio pomposo no segundo *Scaligerana*: *horlogia sunt valle recentia et praeclarum inventum*. Portanto, não é de admirar que o tempo do século XVI, pelo menos na sua primeira metade, seja ainda e sempre o tempo vivido, o tempo do aproximadamente, e que, no que respeita ao tempo e a tudo mais, «reina por toda a parte, na mentalidade dos homens, a fantasia, a imprecisão e a inexactidão. E disto não faltam exemplos no facto de haver homens que não sabem exactamente a sua idade; de serem incontáveis as personagens históricas desse tempo que nos dão a escolher entre três ou quatro datas de nascimento, por vezes distantes

²⁰ Quanto aos relógios portáteis, relógios de viagem, relógios de bolso, estes não somente não são precisos, como ainda, tal como nos diz Jérôme Cardan, num texto que deve ter escapado aos historiadores da relojoaria e para o qual chamo a vossa atenção, passam mais tempo no relojoeiro do que com o seu possuidor. Cf. Hieronimus Cardanus, *De rerum varietate*, l. IX, cap. XLVII, Paris, 1663, pp. 185 e segs.

vários anos umas das outras», mostrando haver homens que não conhecem nem o valor nem a medida do tempo.

Acabo de dizer: pelo menos na primeira metade do século XVI, porque, na segunda, a situação se modifica de modo sensível. A imprecisão e o aproximadamente reinam, sem dúvida, ainda. Mas, paralelamente ao crescimento das cidades e da riqueza urbana, ou, se o preferirmos, paralelamente à vitória da cidade e da vida urbana sobre o campo e a vida campestre, o uso dos relógios espalha-se cada vez mais. São peças sempre muito belas, muito trabalhadas, muito cinzeladas, muito caras. Mas já não são muito raras, ou, mais exactamente, tornam-se cada vez menos raras. E no século XVII deixarão completamente de o ser.

Por outro lado, o relógio evolui, melhora, transforma-se. A maravilhosa habilidade e engenhosidade não menos surpreendente dos relojoeiros (constituídos, a partir de então, numa guilda independente e poderosa), a substituição da roda reguladora pelo *foliot*, a invenção do *stackfreed* e do fuso que igualizam e uniformizam a acção da mola, fazem de um puro objecto de luxo um objecto de utilidade prática capaz de indicar as horas de uma maneira quase precisa.

Não foi, todavia, do relógio dos relojoeiros que saiu finalmente o relógio de precisão. O relógio dos relojoeiros nunca ultrapassou — e nunca poderia fazê-lo — o estágio do «quase» e o nível do «aproximadamente». O relógio de precisão, o relógio cronométrico, tem uma origem completamente diferente. Não é, de modo algum, uma promoção do relógio de uso prático. É um *instrumento*, quer dizer, uma criação do pensamento científico, ou,

melhor ainda, a realização consciente de uma teoria. É certo que, uma vez realizado, um objecto teórico se pode tornar um objecto prático de uso corrente e quotidiano. É certo também que considerações práticas — no caso que nos interessa, o problema da determinação das longitudes, que a extensão da navegação tornava cada vez mais urgente — podem inspirar o pensamento teórico. Mas não é a utilização de um objecto que lhe determina a natureza: é a estrutura; um cronómetro permanece um *cronómetro* mesmo se forem os marinheiros a utilizá-lo. Isto explica-nos por que razão não é aos relojoeiros, mas aos sábios, não a Jost Burgi e a Isaak Thuret, mas a Galileu e a Huygens (e a Robert Hook também), que remontam as grandes invenções decisivas a que devemos o relógio de pêndulo e o relógio de espiral reguladora. Tal como muito bem o diz Jacquerod, no seu prefácio ao excelente trabalho que L. Défossez²¹ recentemente consagrou à história da cronologia (trabalho cujo mérito consiste em recolocar a história da cronologia na história geral do pensamento científico e que tem o título característico de *Os Sábios* (e não *Os Relojoeiros do Século XVII e a Medida do Tempo*): «Os técnicos ficarão talvez surpreendidos, mesmo desiludidos, ao verificarem o pequeno papel desempenhado nesta história pelos relojoeiros práticos, comparado com a imensa importância das pesquisas dos sábios. Sem dúvida, as realizações são, em geral, obra de relojoeiros; mas as ideias, as invenções, germinam frequentemente no cérebro dos homens de ciência e vários dentre eles não

²¹ L. Défossez, *Les Savants du XVIII^e siècle et la mesure du temps*, Lausana, 1946.

receiam pôr as mãos ao trabalho e construir, eles próprios, os aparelhos, os dispositivos que imaginaram.» Este facto, que pode parecer paradoxal, é explicado, segundo Jacquerod e, bem entendido, por Défossez, «por uma razão muito precisa e, em certa medida, dupla, que faz compreender ao mesmo tempo a razão pela qual nos séculos seguintes a situação foi por vezes invertida»:

«Em primeiro lugar, esta razão consiste no facto de a medida exacta do tempo ser muito mais uma necessidade capital para a ciência, a astronomia e a física do que para as actividades quotidianas e as relações sociais. Se os quadrantes solares e os relógios de *foliot* eram, no século XVII, largamente suficientes para o grande público, já para os sábios o não eram.» Era-lhes necessário descobrir uma medida exacta. Ora «os processos empíricos eram impotentes para esta descoberta e apenas os teóricos, aqueles que precisamente nesta época elaboravam as teorias e estabeleciam as leis da mecânica racional, eram capazes de a fazer. Portanto, os físicos, os mecânicos, os astrónomos, sobretudo os maiores dentre eles, preocuparam-se com o problema a resolver pela simples razão de serem os primeiros interessados».

«O segundo lado da questão, de uma importância ainda maior, deve ser procurado nas necessidades da navegação [...] No mar, a determinação das coordenadas geográficas, a determinação do 'ponto', é fundamental e sem ela nenhuma viagem longe das costas pode ser empreendida com alguma segurança. Se a determinação da latitude é facilitada pela observação do Sol ou da Polar, a da longitude é muito mais difícil [...] exige o conhecimento da hora do meridiano de origem. E é necessário

levar consigo essa hora, conservá-la preciosamente. É, pois, preciso possuir 'um guarda-tempo' em que se possa confiar.» «Os dois problemas, da medida e da conservação do tempo, estão naturalmente ligados de modo íntimo. O primeiro foi resolvido por Galileu e Huygens através da utilização do pêndulo. O segundo, bem mais difícil [...] recebeu uma solução perfeita — pelo menos em princípio — com a invenção, devida a Huygens, do sistema balanceteiro-espiral.»

«Durante os dois séculos seguintes, apenas houve aperfeiçoamentos de pormenor [...] mas não mais descobertas fundamentais [...] E crê-se que então o papel dos técnicos [...] se tenha tornado preponderante.»

Estou mais ou menos de acordo com Jacquerod e Défossez no que respeita à explicação do papel desempenhado pela ciência teórica na invenção do cronómetro, e foi por isso que os citei tão longamente; por isso, e também porque é muito raro encontrar um físico e um técnico — Défossez é um técnico de relojoaria — não infectados pelo vírus da epistemologia empirista e positivista, que fez, e faz ainda, tantas destruições entre os historiadores do pensamento científico. Todavia, não estou inteiramente de acordo com eles. Particularmente, não acredito no papel preponderante do problema das longitudes; creio que Huygens teria empreendido e continuado as suas pesquisas sobre o movimento pendular e o movimento circular, o isocronismo e a força centrífuga, ainda que não tivesse sido estimulado pela esperança de ganhar 10 000 libras (que, aliás, não ganhou), simplesmente porque eram problemas que se impunham à ciência do seu tempo.

Pois, se pensarmos que, para determinar o valor da aceleração, Galileu, quando das suas famosas experiências do corpo rolando sobre um plano inclinado, foi obrigado a empregar uma clepsidra de água, clepsidra muito mais primitiva na sua estrutura que a de Ctesíbio e que, por esse motivo, obtivera números completamente falsos), e que Riccioli, em 1647, para estudar a aceleração dos corpos em queda livre, fora obrigado a montar um *relógio humano*²², dar-nos-emos conta da impropriedade dos relógios usuais no emprego científico e da urgência absoluta, para a mecânica física, de descobrir um meio de medir o tempo. Portanto, é perfeitamente compreensível que Galileu se tenha preocupado com a questão: para quê, com efeito, possuir fórmulas que permitem determinar a velocidade de um corpo a cada instante da sua queda em função da aceleração e do tempo decorrido, se não é possível medir nem a primeira nem o segundo?

Ora, para medir o tempo — já que não é possível fazê-lo directamente — é indispensável utilizar um fenómeno que o encarna de uma maneira apropriada; o que significa quer um processo que se desenrola de uma maneira uniforme (velocidade constante), quer um fenómeno que, não sendo ele mesmo uniforme, se reproduz periodicamente na sua identidade (repetição isócrona). Foi para a primeira solução que se orientou Ctesíbio, ao manter constante o nível da água num dos recipientes da sua

²² Cf. os meus artigos «Galileu e a experiência de Pisa», in *Annales de l'Université de Paris*, 1936, e «An experiment in measurement», in *American Philosophical Society, Proceedings*, 1952.

clepsidra, de onde, por este motivo, ela escorria para o outro com uma velocidade constante; foi para a segunda que se orientou Galileu (e Huygens) ao descobrir nas oscilações do pêndulo um fenómeno que se reproduz eternamente.

Mas é evidente — ou, pelo menos, deveria ser evidente — que uma tal descoberta não pode ser fruto do empirismo. É claro que nem Ctesíbio, nem Galileu — que os historiadores de ciências colocam, todavia, entre os empiristas, ao louvarem por terem estabelecido, através de experiências, alguma coisa que *não podia ser estabelecida* por elas — puderam estabelecer, quer a constância do fluxo, quer o isocronismo da oscilação através de medidas empíricas. Quando mais não fosse, pela razão muito simples — mas inteiramente suficiente — de lhes faltar precisamente aquilo com que teriam podido medi-las; por outras palavras, o instrumento de medida que a constância do esvaziamento ou o isocronismo do pêndulo iam justamente permitir realizar.

Não foi por ver balançar o grande candelabro da Catedral de Pisa que Galileu descobriu o isocronismo do pêndulo, uma vez que esse candelabro não foi aí colocado senão após a sua partida da cidade natal — mas é inteiramente possível que tenha sido um espectáculo deste género que o tenha incitado a meditar sobre a estrutura própria do vaivém: as lendas contêm quase sempre um elemento de verdade — neste caso, o estudar matematicamente, a partir das leis do movimento acelerado, que tinha estabelecido por meio de uma dedução racional, a queda dos corpos graves ao longo das cordas de um círculo colocado verticalmente. Ora foi apenas então, isto é, *depois* da dedução

teórica, que ele pôde pensar numa verificação experimental (cuja finalidade não era de modo algum confirmar esta, mas descobrir de que maneira essa queda se realiza *in rerum natura*, isto é, como se comportam os pêndulos reais e materiais que oscilam, não no espaço puro da física, mas sobre a terra e no ar) e, realizada a experiência com sucesso, tentar construir um instrumento que permitisse utilizar, na prática, a propriedade mecânica do movimento pendular.

Foi exactamente da mesma maneira, isto é, através de um estudo puramente teórico, que Huygens descobriu o erro da extrapolação galilaica e demonstrou que o isocronismo se realiza, não segundo o círculo, mas segundo a cicloide; foram considerações puramente geométricas que lhe permitiram encontrar o meio de realizar — em teoria — o movimento cicloidal. E foi nesse momento que se lhe pôs — tal como o que se tinha passado com Galileu — o problema técnico, ou, mais exactamente, *tecnológico*, da realização efectiva, isto é, da execução material do modelo que tinha concebido. Portanto, não é de admirar que — como Galileu antes, ou Newton depois dele — tivesse necessidade de «pôr as mãos ao trabalho». Tratava-se justamente de ensinar aos «técnicos» qualquer coisa que eles nunca tinham feito e de inculcar na profissão, na arte, na *technê*, regras novas, as regras de precisão da *equistême*.

A história da cronometria oferece-nos um exemplo marcante — talvez o mais marcante de todos — do nascimento do pensamento tecnológico, que progressivamente penetra e transforma o pensamento e a realidade técnica ela própria e que a eleva a um plano superior. O que, por sua

vez, explica que os técnicos, os relojoeiros do século XVIII, tenham podido melhorar e aperfeiçoar os instrumentos que os seus antecessores não foram capazes de inventar: é que eles viviam num outro «clima» ou «meio» técnico e estavam contaminados pelo espírito da precisão.

Já o disse, mas convém repeti-lo: é pelo instrumento que a precisão toma corpo no mundo do aproximadamente; é na construção dos instrumentos que se afirma o pensamento tecnológico; é para a sua construção que se inventam as primeiras máquinas *precisas*. Ora é pela precisão das suas máquinas, resultado da aplicação da ciência à indústria, tal como pela utilização de fontes de energia e de materiais que a natureza não nos entrega como tais, que se caracteriza a indústria da idade paleotécnica, a idade do vapor e do ferro, a idade tecnológica no decurso da qual se efectua a penetração da técnica pela teoria.

E é pela supremacia da teoria sobre a prática que poderíamos caracterizar a técnica da segunda revolução industrial, para empregar a expressão de Friedmann, como a da indústria neotécnica da idade da electricidade e da ciência aplicada. É pela sua fusão que se caracteriza a época contemporânea: dos instrumentos que têm a dimensão de fábricas e de fábricas que possuem toda a precisão dos instrumentos.