

ALEXANDRE KOYRÉ

# *Estudos de História do Pensamento Científico*

2ª Edição

Tradução e Revisão Técnica de:  
MÁRCIO RAMALHO

*Christiane S. Cabral*

**FU**

FORENSE UNIVERSITÁRIA

**COLEÇÃO "CAMPO TEÓRICO"**

Dirigida por Manuel Barrós da Motta  
e Severino Bezerra Cabral Filho

**DO MUNDO FECHADO AO UNIVERSO INFINITO**

*Alexandre Koyré*

**O NORMAL E O PATOLÓGICO**

*Georges Canguilhem*

(3ª edição revista, acrescida de uma Apresentação de Louis Althusser e de um estudo "A Filosofia da Ciência de Georges Canguilhem", de Pierre Macherey)

**O NASCIMENTO DA CLÍNICA**

*Michel Foucault*

**A ARQUEOLOGIA DO SABER**

*Michel Foucault*

(3ª edição revista)

**DA PSICOSE PARANÓICA EM SUAS RELAÇÕES COM A PERSONALIDADE**

*Jacques Lacan*

Segunda edição brasileira : 1991

Traduzido de:  
ÉTUDES D'HISTOIRE DE LA PENSÉE SCIENTIFIQUE

Copyright © Éditions Gallimard, 1973

CIP-Brasil. Catalogação-na-fonte  
Sindicato Nacional dos Editores de Livros, RJ

K89e  
Koyré, Alexandre.  
Estudos de história do pensamento científico/Alexandre Koyré; tradução e revisão técnica de Márcio Ramalho. — Rio de Janeiro: Ed. Forense Universitária, 1991.

(Coleção Campo teórico)

Tradução de: Études d'histoire de la pensée scientifique  
Bibliografia

I. Ciência — Filosofia 2. Ciência — História I. Título  
II. Série

CDD — 501

509

CDU — 501.001

501 (091)

82-0287

Proibida a reprodução total ou parcial, bem como a reprodução de apostilas a partir deste livro, de qualquer forma ou por qualquer meio eletrônico ou mecânico, inclusive através de processos xerográficos, de fotocópia e de gravação, sem permissão expressa do Editor. (Lei nº 5.988, de 14.12.73).

Reservados os direitos de propriedade desta edição pela  
EDITORA FORENSE UNIVERSITÁRIA LTDA.  
Rua Visconde Silva, 32 — 22271 — Rio de Janeiro — RJ  
Largo de São Francisco, 20 — 01005 — São Paulo — SP

Impresso no Brasil  
Printed in Brazil

### SUMÁRIO

PREFÁCIO DA EDIÇÃO ORIGINAL	7
ORIENTAÇÃO E PROJETOS DE PESQUISA	10
— O PENSAMENTO MODERNO <i>Le Livre</i> , 4.º ano, Paris, maio de 1930.	15
ARISTOTELISMO E PLATONISMO NA FILOSOFIA DA IDADE MÉDIA <i>Les Gants du Ciel</i> , vol. VI, Ottawa, 1944.	22
A CONTRIBUIÇÃO CIENTÍFICA DA RENASCENÇA <i>Quinzième Semaine de Synthèse</i> , Paris, Albin Michel, 1951.	46
AS ORIGENS DA CIÊNCIA MODERNA: UMA NOVA INTERPRE- TAÇÃO <i>Diogené</i> , nº 16, Paris, Gallimard, outubro de 1956.	56
AS ETAPAS DA COSMOLOGIA CIENTÍFICA <i>Quatorzième Semaine de Synthèse</i> , Paris, Albin Michel, 1951.	80
LEONARDO DA VINCI 500 ANOS DEPOIS Texto inédito de uma conferência, Madison, 1953.	91
A DINÂMICA DE NICCOLÒ TARTAGLIA Colóquio Internacional de Royaumont, julho de 1957, <i>La Science au XVII<sup>e</sup> siècle</i> , Paris, Hermann, 1960.	107
GIAMBATTISTA BENEDETTI, CRÍTICO DE ARISTÓTELES <i>Mélanges Étienne Gilson</i> , Paris, Vrin, 1959.	128

çons of *Modern Physical Science*, New York, 1925, é quem me parece ter melhor exposto o plano de fundo metafísico da ciência moderna (o matematismo platônico). Infelizmente, Burt não soube reconhecer a existência de *dúas* (e não uma) tradições platônicas, a da especulação mística sobre os números e a da ciência matemática. O mesmo erro, pecado venial no caso de Burt, foi cometido por seu crítico, E. W. Strong, *Procedures and Metaphysics*, Berkeley, Cal., 1936 e, no seu caso, foi um pecado mortal. — Sobre a distinção entre os dois platonismos, cf. L. Brunschwig, *Les Étapes de la philosophie mathématique*, Paris, 1922, pp. 69 sq., e *Le Progrès de la conscience dans la philosophie occidentale*, Paris, 1937, pp. 37 sq.

<sup>65</sup> *Dialogo*, p. 35.

<sup>66</sup> *Dialogo*, pp. 128 sq.

<sup>67</sup> *Dialogo*, p. 183.

<sup>68</sup> *Ibid.*, p. 217.

## GALILEU E A REVOLUÇÃO CIENTÍFICA DO SÉCULO XVII\*

A ciência moderna não saiu, perfeita e completa, como Atene da canga de Zeus, dos cérebros de Galileu e de Descartes. Pelo contrário, a revolução galileana e cartesiana — que, apesar de tudo, permanece como uma revolução —, fora preparada por um longo esforço de pensamento. E não há nada mais interessante, mais instrutivo, nem mais empolgante, do que a história desse esforço, a história do pensamento humano. Idando obstinadamente com os mesmos eternos problemas, encontrando as mesmas dificuldades, lutando sem trégua contra os mesmos obstáculos e forjando, lenta e progressivamente, seus instrumentos e ferramentas, isto é, os novos conceitos, os novos métodos de pensamento que, enfim, permitirão vencê-los.

Trata-se de uma longa e apaixonante história, longa demais para ser contada aqui. Entretanto, para compreender a origem, o alcance e a significação da revolução galileana e cartesiana, não nos podemos dispensar de, pelo menos, lançar um olhar para trás, sobre determinados contemporâneos e predecessores de Galileu.

\*Texto de uma conferência feita no Palais de la Découverte, em 7 de maio de 1955 ("Les Conférences du Palais de la Découverte", série D, n.º 37; Paris, Palais de la Découverte, 1955, 19 p.). Uma versão em língua inglesa deste texto fora publicada anteriormente ("Galileo and the Scientific Revolution of the XVIIIth Century", *Philosophical Review*, 1943, pp. 333-348).

A física moderna estuda, em primeiro lugar, o movimento dos corpos pesados, isto é, o movimento dos corpos que nos rodeiam. Assim, é do esforço no sentido de explicar os fatos e os fenômenos da experiência diária — a queda, o arremesso — que decorre o movimento de idéias que conduzem ao estabelecimento de suas leis fundamentais. Porém, esse movimento de idéias não decorre, nem exclusivamente, nem mesmo principalmente, ou diretamente daquele esforço. A física moderna não deve sua origem somente à Terra. Ela a deve também aos céus. E é nos céus que ela encontra sua perfeição e seu fim.

Esse fato, o fato de que a física moderna tem seu prólogo e seu epílogo nos céus ou, mais precisamente, o fato de que a física moderna possui suas origens no estudo dos problemas astronômicos e mantém esse vínculo através de toda a sua história, tem um sentido profundo e acarreta importantes consequências. Implica, notadamente, o abandono da concepção clássica e medieval do Cosmos — unidade fechada de um Todo, Todo qualitativamente determinado e hierarquicamente ordenado, no qual as diferentes partes que o compõem, a saber, o Céu e a Terra, estão sujeitos a leis diversas — e sua substituição pela do Universo, isto é, de um conjunto aberto e indefinidamente extenso do Ser, unido pela identidade das leis fundamentais que o governam; determina a fusão da física celeste com a física terrestre, que permite a esta última utilizar e aplicar a seus problemas os métodos matemáticos hipotético-dedutivos desenvolvidos pela primeira; implica a impossibilidade de estabelecer e de elaborar uma física terrestre ou, pelo menos, uma mecânica terrestre, sem desenvolver ao mesmo tempo uma mecânica celeste; explica, finalmente, o fracasso parcial de Galileu e de Descartes.

A física moderna, isto é, aquela que nasceu nas obras de Galileu Galilei e se completou nas de Albert Einstein, considera a lei da inércia sua lei mais fundamental. Tem muita razão, pois, como diz o velho adágio, *ignoto motu ignoratur natura*, e a ciência moderna tende a explicar tudo “pelo número, pela figura e pelo movimento”. De fato, foi Descartes e não Galileu<sup>1</sup> quem, pela primeira vez, compreendeu inteiramente o alcance e o sentido disso. Entretanto, Newton não está totalmente enganado ao atribuir a Galileu o mérito de sua descoberta. Com efeito, embora Galileu nunca tenha formulado explicitamente o princípio da inércia, sua mecânica está, implicitamente, baseada nele. É somente sua hesitação em extrair, ou em admitir, as últimas — ou implícitas — consequências de sua própria concepção do movimento, sua hesitação em rejeitar completa e radicalmente os dados da experiência em favor do postulado teórico que estabe-

leceu com tanto esforço, que o impede de dar esse último passo no caminho que leva do Cosmos finito dos gregos ao Universo infinito dos modernos.

O princípio da inércia é muito simples. Afirma que um corpo abandonado a si mesmo permanece em seu estado de repouso ou de movimento tanto tempo quanto esse estado não for submetido à ação de uma força exterior qualquer. Em outros termos, um corpo permanecerá eternamente em repouso, a menos que não seja posto em movimento. E um corpo em movimento continuará a mover-se e se manterá em seu movimento retilíneo e uniforme tanto tempo quanto nenhuma força exterior o impedir de fazê-lo<sup>2</sup>.

O princípio da inércia nos parece perfeitamente claro, plausível e até praticamente evidente. Parece-nos inteiramente natural que um corpo em repouso permaneça em repouso, isto é, permaneça onde estiver — onde quer que esteja — e não se mova espontaneamente para se colocar em outro lugar. E que, *converso modo*, uma vez posto em movimento, continue a mover-se, na mesma direção e com a mesma velocidade, porque, com efeito, não vemos razão nem causa para que ele mude de uma ou de outra. Isso nos parece não somente plausível, mas evidente por si mesmo. Ninguém — acreditamos — jamais pensou de outra forma. Porém, não foi assim. Realmente, o caráter de “evidência” de que se cercam as concepções que acabo de evocar data de ontem. Tais concepções possuem esse caráter, para nós, justamente graças a Galileu e a Descartes, enquanto que, para os gregos, bem como para a Idade Média, teriam parecido — ou pareceram — ser manifestamente falsas e até absurdas. Esse fato só pode ser explicado se admitirmos ou reconhecermos que todas essas noções “claras” e “simples” que formam a base da ciência moderna não são “claras” e “simples” *per se* e *in se*, mas na medida em que fazem parte de certo conjunto de conceitos e de axiomas fora do qual não são, absolutamente “simples”.

Por seu turno, isso nos permite compreender porque a descoberta de coisas tão simples e fáceis quanto, por exemplo, as leis fundamentais do movimento, que hoje são ensinadas às crianças — e por elas compreendidas —, exigiu um esforço tão considerável, e um esforço que, muitas vezes, careceu de êxito para alguns dos espíritos mais profundos e mais poderosos da humanidade. É que eles não tinham de descobrir ou de estabelecer essas leis simples e evidentes, mas de criar e de construir o próprio contexto que tornaria possíveis essas descobertas. Para começar, tiveram de reformar nosso próprio intelecto; fornecer-lhe uma série de novos conceitos; elaborar uma nova idéia da natureza, uma nova concepção da ciência, vale dizer, uma nova filosofia. Ora, parece-nos quase impossível apreciar em seu justo

A volta velha da natureza

valor os obstáculos que tiveram de ser vencidos para se estabelecerem aquelas concepções e as dificuldades que elas contém e implicam, porque conhecemos muito bem os conceitos e os princípios que formam a base da ciência moderna ou, mais exatamente, porque estamos profundamente habituados a eles.

O conceito galileano do movimento (como também o de espaço) nos parece tão natural que chegamos a crer que a lei da inércia deriva da experiência e da observação, embora, evidentemente, ninguém nunca tenha podido observar um movimento de inércia, pela simples razão de que tal movimento é inteiramente impossível.

Também estamos tão habituados à utilização das matemáticas para o estudo da natureza que não nos damos mais conta da audácia da asserção de Galileu de que "o livro da natureza é escrito em caracteres geométricos", tanto mais que não estamos conscientes do caráter paradoxal de sua decisão de tratar a mecânica como um ramo das matemáticas, isto é, de substituir o mundo real da experiência quotidiana por um mundo geométrico hipostasiado e de explicar o real pelo impossível.

Na ciência moderna, como sabemos, o espaço real se identifica com o da geometria, e o movimento é considerado como uma translação, puramente geométrica, de um ponto a outro. Daí porque o movimento não afeta, de modo algum, o corpo que dele está dotado. O fato de estar em movimento ou em repouso não produz qualquer modificação no corpo. Esteja em movimento ou em repouso, ele é sempre idêntico a si mesmo. O corpo, enquanto corpo, é absolutamente indiferente aos dois estados. Assim, somos incapazes de atribuir o movimento a um determinado corpo considerado em si mesmo.

Um corpo se acha em movimento apenas em relação a outro corpo que supomos estar em repouso. Por isso, podemos atribuir o movimento a um dos dois corpos, *ad libitum*. Todo movimento é relativo.

Da mesma forma como o movimento não afeta o corpo que dele está dotado, um dado movimento não exerce qualquer influência sobre os outros movimentos que o corpo em questão poderia executar ao mesmo tempo. Assim, um corpo pode estar dotado de um número indeterminado de movimentos que se combinam segundo as leis puramente geométricas. E *vice versa*, qualquer movimento pode ser decomposto segundo essas mesmas leis em um número indeterminado de movimentos componentes.

Ora, admitido o que precede, o movimento é, todavia, considerado como um estado e o repouso, como outro estado, completa e absolutamente oposto ao primeiro. Por isso mesmo, devemos aplicar uma força para

transformar o estado de movimento de um dado corpo no estado de repouso, e *vice versa*.

Daí resulta que um corpo em estado de movimento persistirá eternamente nesse movimento, como um corpo em repouso persiste no seu repouso; e que não será necessária uma força ou uma causa para mantê-lo em seu movimento uniforme e retilíneo, como não será necessário força ou causa para mantê-lo imóvel, em repouso.

Em outros termos, o princípio da inércia pressupõe: a) a possibilidade de isolar um dado corpo de toda a sua *entourage* física e de considerá-lo simplesmente como existente no espaço; b) a concepção do espaço que o identifica com o espaço homogêneo infinito da geometria euclidiana; e c) uma concepção do movimento e do repouso que os considera como *estados* e os situa no mesmo nível ontológico do ser. Somente a partir dessas premissas é que o princípio se afigura evidente ou mesmo admissível. Assim, não é surpreendente que essas concepções tenham parecido difíceis de admitir — e mesmo de compreender — aos predecessores e contemporâneos de Galileu. Nada há de extraordinário no fato de que, para seus adversários aristotélicos, a noção de movimento compreendido como um estado relativo, persistente e substancial, tenha parecido tão obscura e contraditória quanto nos parecem as famosas formas substanciais da escolástica. Nada há de espantoso no fato de que Galileu tenha tido de fazer enormes esforços antes de haver conseguido formar essa concepção e de que grandes espíritos, como Bruno e até Kepler, não tenham chegado a atingir esse ponto. De fato, mesmo em nossos dias, a concepção que descrevemos não é fácil de assimilar. O senso comum é — e sempre foi — medieval e aristotélico.

Agora, temos de lançar um olhar sobre a concepção pré-galileana e, sobretudo, aristotélica, do movimento e do espaço. Bem entendido, não tentarei fazer aqui uma exposição da física aristotélica. Apenas indicarei alguns de seus traços característicos, traços que a opõem à física moderna.

Desejo também sublinhar um fato que muitas vezes é desconhecido, a saber, o fato de que a física de Aristóteles não é um amontoado de incoerências mas, pelo contrário, é uma teoria científica, altamente elaborada e perfeitamente coerente, que não só possui uma base filosófica muito profunda, mas — como mostraram P. Duhem e P. Tannery<sup>3</sup> — está de-acordo, muito mais do que a de Galileu, com o senso comum e a experiência quotidiana.

A física de Aristóteles se baseia na percepção sensível, e é por isso que é decididamente antimatemática. Ela se recusa a substituir por uma

abstração geométrica os fatos qualitativamente determinados pela experiência e pelo senso comum, e nega a própria possibilidade de uma física matemática, fundamentando-se: a) numa heterogeneidade entre os conceitos matemáticos e os dados da experiência sensível; b) na incapacidade das matemáticas de explicar a qualidade e de deduzir o movimento. Não há nem qualidade nem movimento no reino intemporal das figuras e dos números.

Quanto ao movimento (*kinesis*), e mesmo ao movimento local, a física aristotélica o considera como uma espécie de processo de mudança; em oposição ao *reposito*, o qual, sendo o objetivo e o fim do movimento, deve ser reconhecido como um *estado*. Todo movimento é mudança (atualização ou corrupção) e, por conseguinte, um corpo em movimento não só muda em relação aos outros corpos mas, ao mesmo tempo, está ele próprio submetido a um processo de mudança. Eis porque o movimento sempre afeta o corpo que se move e, portanto, se o corpo é dotado de dois ou vários movimentos, esses movimentos se perturbam mutuamente, entram um ao outro e, às vezes, são até incompatíveis um com o outro. Ademais, a física aristotélica não admite o direito, nem mesmo a possibilidade, de identificar o espaço concreto do Cosmo finito e bem ordenado com o espaço da geometria, nem admite a possibilidade de isolar um corpo de seu ambiente físico (e cósmico). Por conseguinte, quando se trata dos problemas concretos da física, sempre se faz necessário levar em conta a ordem do Mundo, considerar a região do ser (o lugar "natural") a que determina o corpo pertence por sua própria natureza. Por outro lado, é impossível tentar submeter esses diferentes campos às mesmas leis, mesmo — e talvez, sobretudo — às leis do movimento.

Assim, por exemplo, os corpos terrestres se movem em linha reta; os corpos celestes, em círculos. Os corpos pesados descem, enquanto os corpos leves sobem. Esses movimentos lhes são "naturais". Em compensação, não é natural que um corpo pesado suba ou que um corpo leve desça. Só pela "violência" é que podemos fazê-los executar esses movimentos, etc.

Em que pese a brevidade desse resumo, fica claro que o movimento, considerado como um *processo de mudança* (e não como um *estado*), não se pode prolongar espontânea e automaticamente; que ele exige, para que persista, a ação contínua de um motor ou de uma causa; e que ele cessa de uma vez desde que essa ação cesse de se exercer sobre o corpo em movimento, isto é, desde que o corpo em questão seja separado de seu motor. *Cessante causa cessat effectus*. Daí, evidentemente, o tipo de movimento

postulado pelo princípio da inércia é totalmente impossível e até contraditório.

Agora, voltemos aos fatos. Já afirmei que a ciência moderna havia nascido em estreito contato com a astronomia. Mais precisamente: ela tem sua origem na necessidade de se afrontarem as objeções físicas opostas por muitos sábios da época à astronomia copernicana. De fato, essas objeções nada tinham de novo. Muito pelo contrário, por vezes apresentadas sob uma forma ligeiramente modernizada, como, por exemplo, substituindo-se pelo disparo de uma bala de canhão o velho argumento do lançamento de uma pedra, elas são idênticas, quanto ao fundo, às que Aristóteles e Ptolomeu levantavam contra a possibilidade do movimento da Terra. Não obstante, é muito interessante e muito instrutivo ver essas mesmas objeções discutidas e rediscutidas pelo próprio Copérnico, por Bruno, Tycho Brahe, Kepler e Galileu<sup>4</sup>.

Os argumentos de Aristóteles e de Ptolomeu, despojados das metáforas com que os enfeitaram, podem ser reduzidos à asserção de que, se a Terra se movesse, seu movimento afetaria os fenômenos que se manifestam em sua superfície de duas maneiras perfeitamente determinadas: a) a formidável velocidade desse movimento (de rotação) desenvolveria uma força centrífuga de tal magnitude que todos os corpos não presos à Terra seriam projetados para longe; b) esse mesmo movimento obrigaria todos os corpos não presos à Terra, ou temporariamente dela desligados, como as nuvens, os pássaros, os corpos aitados ao ar, etc., a ficar para trás. Eis porque uma pedra que caísse do alto de uma torre jamais cairia a seu pé e, a fortiori, uma pedra (ou uma bala) lançada (ou disparada) ao ar, perpendicularmente, jamais cairia no lugar de onde tivesse partido, uma vez que, durante o tempo de sua queda ou de seu vôo, esse lugar se teria "rapidamente afastado e se encontraria em outra parte".

Não devemos zombar desse argumento. Do ponto de vista da física aristotélica, ele é totalmente justo. Tão justo que, com base nessa física, é irrefutável. Para destruí-lo, temos de mudar todo o sistema e desenvolver um novo conceito de movimento: justamente o conceito de movimento de Galileu.

Conforme expusemos, para os aristotélicos o movimento é um processo que afeta o móvel e que se realiza "no" corpo em movimento. Um corpo que cai se move de A a B, de certo lugar situado acima da Terra em direção a ela ou, mais precisamente, *em direção a seu centro*. Segue a linha reta que une esses dois pontos. Durante esse movimento, se a Terra gira em torno de seu eixo, ela descreve, em relação a essa linha (a linha que parte de A em direção ao centro da Terra), um movimento em que não tomam

parte nem essa linha, nem o corpo que se acha separado da Terra. O fato de que a Terra se move sob ele não pode afetar sua trajetória. O corpo não pode correr atrás da Terra; segue sua rota como se nada se passasse pois, com efeito, nada lhe acontece. Mesmo o fato de que o ponto A (o cume da torre) não permanece imóvel, mas participa do movimento da Terra, não tem qualquer importância para seu movimento. O que se produz no ponto de partida do corpo (depois que ele o tenha deixado) não tem a menor influência sobre seu comportamento.

Essa concepção nos pode parecer estranha. Mas não é, absolutamente, absurda. É exatamente dessa maneira que figuramos o movimento — ou a propagação — de um raio de luz. Esse raio não participa do movimento de sua fonte. Ora, se o corpo, separando-se da torre, ou da superfície da Terra, cessasse de participar do movimento desta, um corpo atirado do cume de uma torre efetivamente jamais cairia a seu pé. E uma pedra ou uma bala de canhão atirada verticalmente ao ar jamais cairia no lugar de onde tivesse partido. O que implica, *a fortiori*, que uma pedra ou uma bala que cai do mastro de um navio em movimento jamais cai a seu pé.

A resposta de Copérnico aos argumentos dos aristotélicos é, na verdade, bastante frouxa. Ele tenta demonstrar que consequências infelizes deduzidas por estes últimos poderiam ser justas no caso de um movimento "violento". Mas não no caso do movimento da Terra e em relação às coisas que pertencem à Terra, pois, para estas, trata-se de um movimento *natural*. Essa é a razão por que todas as coisas, as nuvens, os pássaros, as pedras, etc. participam do movimento e não ficam para trás.

Os argumentos de Copérnico são muito fracos. Porém, contém em si os germes de uma nova concepção que será desenvolvida por pensadores que o sucederão. Os raciocínios de Copérnico aplicam as leis da "mecânica celeste" aos fenômenos terrestres, um passo que, implicitamente, anuncia o abandono da velha divisão qualitativa do Cosmo em dois mundos diferentes. Além disso, Copérnico explica o trajeto *aparentemente retilíneo* (embora, de fato, curvilíneo) do corpo em queda livre por sua participação no movimento da Terra. Sendo comum à Terra, ao corpo e a nós próprios, esse movimento, para nós, é "como inexistente".

Os argumentos de Copérnico são baseados numa concepção mítica da "natureza comum da Terra e das coisas terrestres". A ciência posterior deverá substituí-la pelo conceito de um sistema físico, de um sistema de corpos que tenham o mesmo movimento. Ela deverá apoiar-se na *relatividade física*, e não *ótica*, do movimento. Tudo isso é impossível com base na filosofia aristotélica do movimento e exige a adoção de outra filosofia.

De fato, como veremos ainda mais claramente, é com problemas filosóficos que temos de tratar nesta discussão.

A concepção do sistema físico ou, mais precisamente, mecânico, que estava implicitamente presente nos argumentos de Copérnico foi elaborada por Giordano Bruno. Por uma intuição de gênio, Bruno descobriu que a nova astronomia devia abandonar imediatamente a concepção de um mundo fechado e finito e substituí-la pela concepção de um Universo aberto e infinito. Isso implica o abandono da noção de lugares naturais e, portanto, da noção de movimentos "naturais" opostos aos não naturais ou "violentos". No Universo infinito de Bruno, no qual a concepção platônica do espaço entendido como "invólucro", os "lugares" são perfeitamente equivalentes e, portanto, perfeitamente naturais para todos os corpos, quaisquer que sejam. Assim, onde Copérnico faz uma distinção entre o movimento "natural" da Terra e o movimento "violento" das coisas sobre a Terra, Bruno os assimila. Tudo o que se passa na Terra, na suposição de que ela se mova — explica-nos ele —, é uma contrapartida exata do que ocorre num navio que desliza sobre a superfície do mar. E o movimento da Terra não tem maior influência sobre o movimento *na* Terra do que o movimento do navio tem sobre o movimento das coisas que estão *no* navio.

As consequências deduzidas por Aristóteles só poderiam produzir-se se a origem, isto é, o lugar de partida do corpo em movimento fosse exterior à Terra e não ligado a ela.

Bruno demonstra que o lugar de origem, como tal, não desempenha nenhum papel na definição do movimento (do trajeto) do corpo que se move, e que o importante é a ligação — ou falta de ligação — entre esse lugar e o sistema mecânico. Um "lugar" idêntico pode até — *horribile dictu* — pertencer a dois ou a vários sistemas. Assim, por exemplo, se imaginarmos dois homens, um encarpitado no alto do mastro de um navio que passa sob uma ponte, e o outro de pé, sobre a ponte, poderemos imaginar também que, em certo momento, as mãos desses dois homens estarão num lugar idêntico. Se, nesse momento, cada um deles deixa cair uma pedra, a do homem que se acha sobre a ponte cairá verticalmente na água, enquanto a pedra do homem encarpitado no mastro seguirá o movimento do navio e (descrevendo uma curva muito particular em relação à ponte) cairá ao pé do mastro. Bruno explica a causa desse comportamento diferente pelo fato de que a segunda pedra, partilhando o movimento do navio, retém nela uma parte da *causa motriz* de que se acha impregnada.

Como vemos, Bruno substituiu a dinâmica aristotélica pela dinâmica do *impetus* dos nominalistas parisienses. Parece-lhe que essa dinâmica fornece uma base suficiente para elaborar uma física adaptada à astronomia de Copérnico, o que, como a história nos demonstrou, estava errado.

É verdade que a concepção do *impetus*, causa ou potência que anima o corpo em movimento, que produz esse movimento e se consome por ele, permitiu a Bruno refutar os argumentos de Aristóteles, pelo menos alguns deles. Todavia, ela não podia destruí-los a todos e, menos ainda, fornecer os fundamentos capazes de levantar o edifício da ciência moderna.

Os argumentos de Giordano Bruno nos parecem muito razoáveis. Entretanto, em sua época não produziram nenhuma impressão, nem em Tycho Brahe que, em sua polémica com Rothmann, repete incansavelmente as velhas objeções aristotélicas, embora modernizando-as um pouco, nem mesmo Kepler que, não obstante ser influenciado por Bruno, se acredita obrigado a voltar aos argumentos de Copérnico, substituindo a concepção mítica (a identidade da natureza) do grande astrônomo por uma concepção física, a concepção da força de atração.

Tycho Brahe não admite que a bala que cai do alto do mastro de um navio em movimento atinja o pé desse mastro. Muito pelo contrário, ele afirma que ela cairá a ré do mastro e que, quanto maior a velocidade do navio, mais longe a bala cairá. Da mesma forma, as balas de um canhão disparadas verticalmente não poderão voltar ao ponto em que o canhão se acha.

Tycho Brahe acrescenta que, se a Terra se movesse como pretende Copérnico, não seria possível lançar uma bala de canhão à mesma distância, a leste e a oeste. O movimento extremamente rápido da Terra, do qual a bala participa, viria a impedir seu movimento e até a torná-lo impossível se a bala em questão tivesse de mover-se numa direção oposta à do movimento da Terra.

O ponto de vista de Tycho Brahe nos pode parecer estranho, mas não devemos esquecer que, por sua vez, Tycho Brahe devia achar as teorias de Bruno absolutamente incríveis e até exageradamente antropomórficas. Pretender que dois corpos que caem do mesmo lugar em direção ao mesmo ponto (o centro da Terra) efetuassem dois trajetos diferentes e descrevessem duas trajetórias diferentes pela simples razão de que um deles estivera ligado a um navio, enquanto o outro não o estivera, significava, para um aristotélico — e Tycho Brahe, no que diz respeito à dinâmica, é um deles —, que o corpo em questão se *tembrava* de sua ligação passada com o navio, *sabia* onde deveria ir e era dotado da capacidade necessária para fazê-

lo. O que implicava, para ele, que o corpo em apreço possuía uma alma, e até uma alma singularmente poderosa.

Ademais, do ponto de vista da dinâmica aristotélica, bem como do ponto de vista da dinâmica do *impetus*, dois movimentos diferentes entram um ao outro. E os defensores de uma e de outra concepção invocam como prova o fato bem conhecido de que o movimento rápido da bala (em seu curso horizontal) impede de descer e lhe permite manter-se no ar por mais tempo do que poderia fazê-lo se se deixasse simplesmente cair<sup>5</sup>. Em suma, Tycho Brahe não admite a mútua independência dos movimentos — ninguém a admitiu antes de Galileu — e, portanto, tem perfeita razão em não admitir os fatos e as teorias que implicam essa independência.

A posição tomada por Kepler é particularmente interessante e importante. Ela nos mostra, melhor do que qualquer outra, as raízes profundamente filosóficas da revolução galileana. Do ponto de vista puramente científico, Kepler — a quem devemos, *inter alia*, o termo *inércia* — é, sem dúvida alguma, um dos maiores, senão o maior gênio de seu tempo. É inútil insistir em seus notáveis dons matemáticos, que só são iguálados pela intrepidez de seu pensamento. O próprio título de uma de suas obras, *Physica Coelestis*<sup>6</sup>, é um desafio a seus contemporâneos. Entretanto, Kepler está bem mais próximo de Aristóteles e da Idade Média do que de Galileu e de Descartes. Ele ainda raciocina em termos do Cosmo. Para ele, o movimento e o repouso ainda se opõem como a luz e as trevas, como o ser e a privação do ser. Portanto, o termo *inércia*, para ele, significa a resistência que os corpos opõem ao movimento e não, como para Newton, a mudança de seu estado de movimento para o de repouso e do seu estado de repouso para o de movimento. É por isso que, da mesma forma que, para Aristóteles e os físicos da Idade Média, ele precisa de uma causa ou força para explicar o movimento, o que não é preciso para explicar o repouso. Como eles, Kepler acredita que os corpos em movimento, separados do móvel ou privados da influência da causa ou força motriz, não continuam seu movimento mas, pelo contrário, param.

Assim, para explicar o fato de que, sobre a Terra que se move, os corpos, mesmo que não estejam a ela ligados materialmente, não ficam para trás, pelo menos de maneira *perceptível*, e que as pedras atiradas ao ar caem no lugar de onde são atiradas, e que as balas de canhão voam (ou quase) tão longe a oeste quanto a leste, ele deve admitir — ou deduzir — uma força real que ligue esses corpos à Terra e os obrigue a segui-la.

Kepler descobre essa força na atração mútua de todos os corpos materiais ou, pelo menos, terrestres, o que significa, do ponto de vista prático,



na atração de todas as coisas terrestres pela Terra. Kepler concebe essas coisas como ligadas à Terra por inúmeras correntes elásticas, e é a tração dessas correntes que explica que as nuvens e os vapores, as pedras e as balas, não ficam imóveis no ar, mas seguem a Terra em seu movimento. O fato de que essas cadeias se acham em toda parte permite, segundo Kepler, atirar uma pedra ou disparar uma bala em direção oposta à do movimento da Terra: as correntes de atração puxam a bala para leste tanto quanto a puxam para oeste e, dessa forma, sua influência se equilibra, ou quase. O movimento real do corpo (a bala disparada verticalmente) é, naturalmente, uma combinação ou mistura: a) de seu próprio movimento e b) do movimento da Terra. Mas como este último é comum, só o primeiro importa. Segue-se claramente (embora Tycho Brahe não o tenha compreendido) que, enquanto a dimensão do trajeto de uma bala disparada na direção leste e a do trajeto de outra, disparada na direção oeste, são diferentes quando consideradas no espaço do Universo, os trajetos dessas balas sobre a Terra são iguais, ou quase iguais.

O que explica porque a mesma força produzida pela mesma quantidade de pólvora pode projetá-las quase à mesma distância em direções opostas?

Assim, as objeções de Aristóteles e de Tycho Brahe ao movimento da Terra são afastadas e Kepler sublinha que era um erro assimilar a Terra a um navio em movimento: de fato, a Terra "atrai magneticamente" os corpos que transporta: o barco absolutamente não o faz. Eis porque, no caso do navio, precisamos de uma ligação material, o que é completamente inútil no caso da Terra.

Não nos atrasemos mais neste ponto. Vemos que o grande Kepler, o fundador da astronomia moderna, o mesmo homem que proclamou a unidade da matéria no Universo e afirmou que *ubi materia, ibi geometria*, fracassou no estabelecimento da base da ciência física moderna por uma única e exclusiva razão: ele acreditava que o movimento era, ontologicamente, de um nível existencial mais elevado do que o do repouso.

Se, agora, depois desse breve resumo histórico, nos voltarmos para Galileu Galilei, não nos surpreenderemos por vê-lo, também, discutir longamente, até muito longamente, as objeções tradicionais dos aristotélicos. Ademais, poderemos apreciar a consumada habilidade com a qual, em seu *Diálogo sobre os Dois Mundos do Mundo*, ele ordena seus argumentos e prepara o assalto definitivo contra o aristotelismo. Galileu não ignora a enorme dificuldade de sua tarefa. Sabe muito bem que se acha diante de inimigos poderosos: a autoridade, a tradição e — o pior de todos

— o senso comum. É inútil alinhar provas diante de espíritos incapazes de assimilar seu alcance. Inútil, por exemplo, explicar a diferença entre a velocidade linear e a velocidade de rotação (as primeiras objeções aristotélicas e ptolemaicas têm origem na confusão entre elas) aos que não estão habituados a pensar matematicamente. É preciso começar por educá-los. É mister proceder lentamente, passo a passo, discutir e rediscutir os velhos e os novos argumentos, apresentá-los sob variadas formas, multiplicar os exemplos, inventando novos e mais convincentes: o exemplo do cavaleiro que lança seu dardo ao ar e o segura de novo; o exemplo do arqueiro que entesa seu arco com maior ou menor força para dar à flecha uma velocidade de maior ou menor; o exemplo do arco colocado sobre uma viatura e que pode, assim, compensar a maior ou menor velocidade da viatura pela velocidade maior ou menor dada a suas flechas. Outros exemplos, inúmeros, que, um após outro, nos conduzem — ou melhor, conduzem os contemporâneos de Galileu — a aceitar essa concepção paradoxal e inaudita segundo a qual o movimento é algo que persiste no ser *in se* e *per se* e não exige nenhuma causa ou força para essa persistência. Uma tarefa muito dura, pois não é natural pensar no movimento em termos de velocidade e de direção em lugar de fazê-lo em termos do esforço (*impetus*) e do deslocamento.

Mas, de fato, não podemos pensar no movimento no sentido do esforço e do *impetus*; nós o podemos apenas imaginar. Portanto, temos de escolher entre pensar e imaginar. Pensar com Galileu ou imaginar com o senso comum. Pois é o pensamento, o pensamento puro e sem mistura, e não a experiência e a percepção dos sentidos, que constitui a base da "nova ciência" de Galileu Galilei.

Galileu o diz muito claramente. Assim, discutindo o famoso exemplo da bala que cai do alto do mastro de um navio em movimento, Galileu explica longamente o princípio da relatividade física do movimento, a diferença entre o movimento do corpo em relação à Terra e seu movimento em relação ao navio. A seguir, *sem fazer qualquer menção à experiência*, conclui que o movimento da bala em relação ao navio não muda com o movimento deste último. Ademais, quando seu adversário aristotélico, imbuído de espírito empírico, lhe faz a pergunta: "Fizestes uma experiência?" Galileu declara com orgulho: "Não, e não preciso fazê-la, e posso afirmar, sem qualquer experiência, que é assim, porque não pode ser de outra forma".

Assim, a natureza determina o esse. A boa física é feita *a priori*. A teoria precede o fato. A experiência é inútil porque, antes de toda experiência, já possuímos o conhecimento que buscamos. As leis fundamentais do

movimento (e do repouso), leis que determinam o comportamento espacial e temporal dos corpos materiais, são leis da natureza matemática. Da mesma natureza que as leis que governam as relações e as leis das figuras e dos números. Encontramo-las e descobrimo-las, não na natureza, mas em nós mesmos, em nosso espírito, em nossa memória, como Platão outrora nos ensinou.

E é por isso, como proclama Galileu, para grande consternação de seu interlocutor aristotélico, que somos capazes de dar provas, pura e estritamente matemáticas, das proposições que descrevem os "sintomas" do movimento e de desenvolver a linguagem da ciência natural, de questionar a natureza através de experimentos construídos de maneira matemática e de ler o grande livro da Natureza, que é escrito em "caracteres geométricos".<sup>19</sup>

O livro da Natureza é escrito em caracteres geométricos. A nova física, a de Galileu, é uma geometria do movimento, do mesmo modo como a física de seu verdadeiro mestre, o *divus Archimedes*, era uma física do repouso. A geometria do movimento *a priori*, a ciência matemática da natureza..., como é possível? As velhas objeções aristotélicas à matematização da natureza por Platão foram finalmente refutadas? Não totalmente. É certo que não há qualidade no reino dos números e é por isso que Galileu — como Descartes — é obrigado a renunciar a ela, renunciar ao mundo qualitativo da percepção sensível e da experiência quotidiana, e a substituí-lo pelo mundo abstrato e incolor de Arquimedes. Quanto ao movimento..., certamente não há movimento nos números. Entretanto, o movimento — pelo menos o movimento dos corpos arquimedianos no espaço homogêneo e infinito da nova ciência — é regido pelos números. Pelas *leges et rationes numerorum*.

O movimento é subordinado aos números. Até o maior dos antigos platônicos, Arquimedes, o super-homem, o ignorava, e a Galileu, este "maravilhoso investigador da Natureza", como o chamara seu aluno e amigo Cavalieri, é que foi dado descobri-lo.

O platonismo de Galileu Galilei é muito diferente do platonismo da Academia florentina, do mesmo modo como sua filosofia matemática da natureza difere da aritmologia neopitagônica da Academia. Mas há mais de uma escola platônica na história da filosofia e ainda não se acha resolvida a questão de saber se as tendências e as idéias representadas por Jâmblico e Proclo são mais ou menos platônicas do que as representadas por Arquimedes.

Como quer que seja, não examinarei aqui esse problema. Entretanto,

devo indicar que, para os contemporâneos e amigos de Galileu, como para o próprio Galileu, a linha de separação entre o aristotelismo e o platonismo é perfeitamente clara. Com efeito, acreditavam eles que a oposição entre essas duas filosofias era determinada pelos pontos de vista diferentes sobre as matemáticas enquanto ciência e sobre seu papel na criação da ciência da natureza.

Segundo eles, se alguém considerava as matemáticas como ciência auxiliar que se ocupa de abstrações e, por isso, de menor valor que as ciências que tratam de coisas reais, como a física, se alguém afirma que a física pode e deve basear-se diretamente na experiência e na percepção sensível, trata-se de um aristotélico. Pelo contrário, se alguém quer atribuir às matemáticas um valor supremo e uma posição-chave no estudo das coisas da natureza, então trata-se de um platônico.

Conseqüentemente, aos contemporâneos e alunos de Galileu, como ao próprio Galileu, a ciência galileana, a filosofia galileana da natureza se afigurava como um retorno a Platão, como uma vitória de Platão sobre Aristóteles.

Devo confessar que essa interpretação parece ser perfeitamente razoável.

<sup>1</sup> Cf. meu *Études galiléennes*, Paris, Hermann, 1939.

<sup>2</sup> Cf. Isaac Newton, *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*; Axiomata sive leges motus: Lex I: Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus a viris impressis cogitur statum illum mutare.

<sup>3</sup> Cf. P. Duhem, *Le Système du Monde*, vol 5, pp. 91 sq.; Paris, Hermann, 1945; P. Tannery, "Galilée et les principes de la dynamique", *Mémoires, scientifiques*, vol. VI, Paris, 1926.

<sup>4</sup> Cf. *Études galiléennes*, III: *Galilée et le principe d'inertie*.

<sup>5</sup> Esta é uma crença geral, especialmente entre os artilheiros.

<sup>6</sup> *Astronomia nova AITIOAOIHTHOS seu Physica coelestis tradita Commentariis de motibus stellarum Martis*, s. 1, 1609.

<sup>7</sup> Se o corpo é *inerte* por natureza, isto é, opõe uma resistência ao movimento, Kepler daí conclui que os corpos separados da Terra ficam um pouco para trás. Tão pouco, porém, que não podemos perceber.

<sup>8</sup> De fato, esta experiência, constantemente invocada nas discussões entre partidários e adversários de Copérnico, jamais foi feita. Mais exatamente, ela só foi feita por Cassendi, em 1642, em Marselha e, talvez, também por Thomas Digges, cerca de sessenta e seis anos antes.

<sup>9</sup> Um experimento é uma pergunta que fazemos à natureza e que deve ser formulada numa linguagem apropriada. A revolução galileana pode ser resumida no fato da descoberta dessa linguagem, da descoberta de que as matemáticas são a gramática da ciência física. Foi essa descoberta da estrutura racional da natureza que tornou a base *a priori* da ciência *experimental* moderna e tornou sua constituição possível.

## GALILEU E A EXPERIÊNCIA DE PISA\* A PROPÓSITO DE UMA LENDA

As experiências de Pisa são muito conhecidas. Desde que Viviani nos contou sua história, ela foi retomada e repetida — mais ou menos fielmente — por todos ou quase todos os historiadores e biógrafos de Galileu. Assim, para o homem comum de hoje, o nome de Galileu está indissoluvelmente associado à imagem da torre inclinada<sup>1</sup>.

Os historiadores que se ocuparam de Galileu — e os historiadores da ciência em geral — atribuem às experiências de Pisa uma grande importância. Habitualmente, nelas vêem um momento decisivo da vida de Galileu: o momento em que ele se pronuncia *abertamente* contra o aristotelismo e inicia seu ataque *público* contra a escolástica. Nelas vêem, também, um momento decisivo da história do pensamento científico: o momento em que, justamente graças às suas experiências sobre a queda dos corpos, Galileu desferiu um golpe mortal na física aristotélica e assenta os fundamentos da nova dinâmica.

Seguem-se alguns exemplos que tiraremos dos trabalhos mais recentes. De início, citemos um historiador italiano, Angelo de Gubernatis. Gubernatis<sup>2</sup> nos diz que “é em Pisa que Galileu começaria sua campanha científica contra Aristóteles, para grande indignação de seus colegas da Academia, particularmente porque, como relata Nessi (*Nessi, Vita e commercio*

\* Artigo extraído dos *Annales de l'Université de Paris*, Paris, 1937, pp. 442-453.