

BIBLIOTECA DE FILOSOFIA

OPUS

«Koyré formulou
em termos de história
a questão filosófica:
o que é pensar?»

Pressupôs
uma existência autônoma
do pensamento,
contra aqueles para quem
a experiência constitui
uma prova de realidade
susceptível de orientar a razão
recalcando
as fascinações imaginárias.»

Gérard Jorland

PUBLICAÇÕES
DOM QUIXOTE

ESTUDOS GALILEICOS Alexandre Koyré

BIBLIOTECA DE FILOSOFIA

OPUS

Alexandre Koyré

ESTUDOS
GALILEICOS



PUBLICAÇÕES
DOM QUIXOTE

física «parisiense». Mas, de facto, há muito tempo que, convencido do carácter bastardo e confuso da própria concepção de *impetus*, de causa do movimento, Galileu a abandonou. Daí que no decurso do *Diálogo* o *impetus* se encontre identificado com o momento, com o movimento, com a velocidade... deslizes sucessivos que, insensivelmente, levam o leitor a conceber o paradoxo do movimento conservando-se sozinho no móvel, de uma velocidade «indelevelmente imprimida» ao corpo em movimento.

Em princípio, o privilégio do movimento circular é atacado: é o movimento enquanto tal que se conserva, e não o movimento circular. Em princípio. Mas, de facto, o *Diálogo* não vai mais longe. E, ainda que isso tenha sido dito, nunca deslizamos, nem deslizaremos para o princípio de inércia. Nunca, não mais nos *Discursos* do que no *Diálogo*, Galileu afirmará a conservação eterna do movimento rectilíneo. Isto pela simples razão de que um tal movimento rectilíneo dos *graves* é uma coisa impossível, e que — para Galileu — corpos não graves deixariam de ser corpos e não se poderiam mover de maneira alguma⁽¹⁴⁸⁾.

⁽¹⁴⁸⁾ *Diálogo*, II, p. 193: «Sagrado. Ma io, Sig. Salvati tu pur ora considerando un'altra cosa mirabile: e questa è, che stanti queste considerazioni, timo retto vedea del tutto a monte e che la natura mai non se ne serva, poichè anco quest'uso che da principio gli si concedette, che fu di ridurre al suo luogo le parti de i corpi integrati, quando fussero dal suo tutto separate e però in prova dispositione costitute, gli vien levato, ed assegnato pur al mot circolare.» A margem: *Moto retto par del tutto escluso in natura.*

A FÍSICA DE GALILEU

A física de Galileu é uma física dos *graves*. Uma física dos corpos que caem. Que vão para baixo. É por isso que o movimento de queda nela desempenha um papel de primeira importância. Esse papel, digamo-lo desde já, é tal que a poderíamos definir assim: uma física da queda. Com efeito, não só o movimento de queda é concebido por Galileu como um movimento natural, mas é ainda o único movimento natural que ele admite.

É evidente que o termo «movimento natural» não tem, para Galileu, ou, se se preferir, não tem no interior da física galileica o mesmo sentido que tinha para Aristóteles. Este distinguia vários movimentos naturais, que exprimiam, pela sua própria diversidade, as diferenças de natureza dos corpos que deles estavam animados. Só resta um na física galileica. Para mais, esse movimento é comum a todos os corpos. O que indica, sem dúvida, uma identidade de natureza⁽¹⁴⁹⁾, mas não no-la revela.

O movimento, na física galileica, nunca revela nem exprime a natureza do móvel. Tivemos já ocasião de ver até que ponto o movimento é nela exterior a este último: é, recordamo-nos, algo que não afecta o móvel em si mesmo — em si mesmo, o movimento

⁽¹⁴⁹⁾ Cf. mais atrás.

é como que nulo e não existente⁽³⁵⁰⁾ — e que o móvel só possui em relação a outra coisa que não seja ele. Movimento e repouso são puros acidentes. No sentido estrito, aristotélico, deste termo, não há, pois, para Galileu, movimentos naturais, tal como não há movimentos violentos. A distinção aristotélica é, com efeito, inadmissível para Galileu e já desde há muito que Galileu lhe dirigira a objecção de não ser nem exaustiva nem absoluta, e de não abarcar o movimento enquanto tal⁽³⁵¹⁾. Os movimentos ditos naturais e violentos transformam-se, com efeito, um no outro: a bola atirada ao ar torna a descer, e a que desce uma rampa torna a subir pela vertente oposta; o peso do pêndulo não pára no ponto mais baixo da sua trajectória, mas volta a subir para tornar a descer mais uma vez, e, se houvesse um buraco através da Terra toda, uma pedra que para lá se atirasse não pararia no centro dela mas tornaria a subir até à superfície oposta⁽³⁵²⁾: exemplos clássicos dos teóricos da física do *impetus*⁽³⁵³⁾; exemplos que fizeram cair e que Galileu evita reproduzir.

Mas, se assim é, se na física galileica os termos «natural» e «violento», aplicados ao movimento, já não têm sentido teórico, o que podem eles ainda designar? Muito simplesmente a distinção do senso comum entre os movimentos que se fazem por si mesmos (a queda, o movimento para baixo) e os que um corpo só executa em virtude de uma acção exterior (o arremesso, o movimento para cima). Ora, o facto de Galileu manter no interior da sua física uma

⁽³⁵⁰⁾ Cf. mais atrás.

⁽³⁵¹⁾ Cf. mais atrás. Na *Alvorada da Ciência Clássica*.

⁽³⁵²⁾ Cf. *Dialogo*, I, p. 46, 47; II, p. 253: «Quando il globo terrestre fosse perforato, un grave descendente per tal foro passerebbe, ascendendo poi oltre al centro, per altrettanto spazio quanto fu quel della scesa.» Cf. *Ibidem*, p. 262: «Il moto naturale se converte per sé stesso in quello che si chiama preternaturale e violento.»

⁽³⁵³⁾ Cf. DUREM, *Études sur Léonard de Vinci*, III, pp. 185 e seg. Estes exemplos, apressamo-nos a dizê-lo, não são de modo nenhum admitidos pelos aristotélicos. Neste sentido, responde Antonio Rocco a Galileu nos seus *Esercizio filosofiche* (*Opere*, VII, p. 689): «Alp' esempio della Terra forata, seguisse il suo moto dalla parte dell'altro emisfero verso il cielo.»

distinção do senso comum parece-nos ser de uma importância capital.

Voltaremos mais uma vez a esta questão. Regressemos agora à queda. A queda, toda a gente o sabe, e Galileu diz-nos isso expressamente, é um movimento natural dos *graves*⁽³⁵⁴⁾. Ora, na física galileica todos os corpos são «graves». Nenhum é privado de peso. *A fortiori*, nenhum é «leve». Contra Aristóteles, Galileu não admite a existência nos corpos de uma qualidade própria chamada «leveza». E por isso também que, para ele, o movimento para cima não é um movimento natural, isto é, espontâneo. Nenhum corpo se move *por si próprio* para cima. Se o fizer, é porque é repellido e expulso do sítio que ocupa por outros mais pesados do que ele. Qualquer movimento de ascensão é um movimento de extrusão.

Estas ideias, que Galileu tinha adoptado desde os seus primeiros trabalhos de física⁽³⁵⁵⁾, não são, sabemo-lo, nem muito originaes, nem muito novas. Muito antes dele, os nominalistas parisienses tinham-nas desenvolvido amplamente. Copérnico, e mais tarde Benedetti, tinham-nas ensinado. Bonamico tinha-as exposto. E fora aqui, sem dúvida, que Galileu as encontrara⁽³⁵⁶⁾. Este, aliás, de maneira nenhuma reivindicava a paternidade delas. Se, a bem dizer, ele não nomeia Benedetti nem Copérnico, afirma, em contrapartida, que se trata de ideias muito antigas; e que a sua teoria do peso, qualidade ou propriedade geral dos corpos, é a mesma dos antigos filósofos, e nomeadamente a de Platão⁽³⁵⁷⁾.

Para o jovem Galileu, a gravidade, ou o peso, é uma propriedade natural dos corpos. É mesmo a sua *única* propriedade natural. O que explica muito bem quer o facto de o movimento de queda ser um movimento natural, quer o facto de ser um movimento natural geral.

⁽³⁵⁴⁾ *Dialogo*, I, p. 53.

⁽³⁵⁵⁾ Cf. *Na Alvorada*, etc.

⁽³⁵⁶⁾ V. BENEDETTI, *Diversarum speculationum mathematicarum liber*, Taurinai, 1585. Cf. *Na Alvorada*, etc.

⁽³⁵⁷⁾ Cf. *Dialogo*, I, pp. 44 e seg. e desde já o *De Motu*, p. 300.

Na física do jovem Galileu, o peso, ou a gravidade, é uma fonte (*source*) de movimento. E como é a única propriedade natural dos corpos, ela é também a *única* fonte natural do movimento; como, por outro lado, ela é uma propriedade natural *geral* de todos os corpos, produz em todos os corpos um movimento *natural* para «baixo».

Ora, vimos que, para a física do *Diálogo* — e as coisas não se passam de modo diferente com a dos *Discursos* —, todos os corpos são graves; e que qualquer corpo, colocado num plano inclinado, mais simplesmente, privado de suporte, «desce» e move-se naturalmente para baixo ⁽²⁵⁵⁾.

Estaríamos então tentados a definir a física de Galileu como física do peso, tal como a de Descartes foi definida como física do choque, e a de Newton física da força. Materialmente, teríamos, sem dúvida, razão. Formalmente, porém, estaríamos enganados. Pois Galileu, de facto, recusa-se a ver na gravidade uma *qualidade natural* dos corpos; e recusa-se igualmente a ver uma *fonte* ou uma *causa* do movimento «para baixo». Isto pela simples razão de que ele sabe muitíssimo bem que não sabe o que ela é. Com efeito, o peso, ou a gravidade, não é em Galileu uma propriedade teórica dos corpos. É uma propriedade empírica; uma qualidade do senso comum. E é isto que explica a atitude curiosa de Galileu, que no *Diálogo* e nos *Discursos* nos fala de corpos *graves* e evita falar-nos de *gravidade*.

Sem dúvida que Galileu nos diz desde início que o peso não é mais do que a tendência natural dos corpos para se moverem e se dirigirem para o centro da Terra, ou para o das coisas graves, quer seja o da Terra ou o do universo inteiro ⁽²⁵⁶⁾: não há, justamente para poder alargar o domínio da gravidade ao conjunto dos corpos, que começar por falar uma linguagem aceitável e compreensível para toda a gente, e até, especialmente, para os aristotélicos? Galileu dirá também que é muito preciso que um corpo

tenha uma inclinação particular para qualquer lugar determinado para que assim se ponha em movimento: senão, ficaria tranquilamente no mesmo lugar ⁽²⁵⁷⁾. É por essa mesma inclinação que se explicará quer a aceleração desse movimento, quer o facto de a queda se efectuar em linha recta. Não tomemos, todavia, estas explicações à letra: estamos mesmo no início do *Diálogo*, e na continuação a situação modificar-se-á completamente. Para começar, teremos que dissociar o centro da Terra do do mundo — se na verdade um tal centro houver, observa Galileu, caso em que tal seria decerto o Sol ⁽²⁵⁸⁾ — e que explicar, no seguimento de Copérnico, o movimento de queda por uma tendência natural das partes para se unirem ao seu todo ⁽²⁵⁹⁾. Mas aqui, mais uma vez, trata-se apenas de uma etapa, e a crítica galilaica, que dissolve progressi-

⁽²⁵⁵⁾ Cf. *Diálogo*, I, pp. 44, 56. — Tal como Aristóteles, Galileu considera que o caso do repouso no lugar é impossível (à excepção do Sol). Cf. *ibid.*, p. 44: «*Salviati*. Qualquer corpo, posto em estado de repouso por qualquer causa que seja, mas que, por sua natureza, é móvel, deixado em liberdade mover-se-á, desde que, por natureza, ele tenha uma inclinação para um qualquer lugar determinado, mas, se fosse indiferente a todos [os lugares] permanecerá em repouso, não tendo mais razão para se mover para um lado de preferência a um outro. Pelo facto de ter esta tendência, daqui resultará que, no seu movimento, ele irá a acelerar continuamente; e, começando por um movimento extremamente lento, não alcançará nenhum grau de velocidade a menos que, primeiramente, tenha passado por todos os graus de velocidade menores ou, se se quiser, [por todos os graus] de lentidão maior; pois, partindo do estado de repouso (que é o grau da lentidão infinita do movimento), não existe nenhuma razão pela qual ele deva entrar num determinado grau de velocidade, antes de entrar num menor, e, antes deste, num outro ainda menor; é, pois, muito mais conforme à razão que ele passe primeiramente pelos graus de velocidade próximos daqueles do qual parte e, em seguida, pelos mais afastados; mas o grau [de velocidade] a partir do qual o móvel começa a mover-se é o da lentidão suprema, isto é, do repouso. Ora, e essa aceleração só ocorrerá se o móvel, pelo seu movimento, adquirir algo; e essa aquisição não é mais do que a aproximação ao lugar desejado, isto é, aquela para o qual o impede a tendência natural; e alcançá-lo-á pela via mais curta, isto é, em linha recta.

⁽²⁵⁶⁾ Cf. *Diálogo*, I, 58: «*ma, si se può assignare centro alcuno all'universo, troveremo in quello esser più presto collocato il Sole*. Cf. III, 349.

⁽²⁵⁷⁾ *Diálogo*, I, 58, cf. COPÉRNICO, *De Revolutionibus*, I, I, c. V.

⁽²⁵⁸⁾ Cf. *Diálogo*, I, pp. 48 e seq.; 171 e seq. e *Discorsi*, III, p. 205.
⁽²⁵⁹⁾ Cf. *Diálogo*, I, p. 58. A gravidade é *la naturale inclinazione delle parti di tutti i globi mondani d'andare a lor centri*.

vamente, a fim de as reconstituir e de as reconstituir, as noções tradicionais e fundamentais da física, chega a negar a noção de peso qualquer valor positivo de explicação.

Os corpos caem, isto é, as partes da Terra são impelidas para «baixo». Isto é uma experiência corrente. Mas é tudo. Pois a «causa» desse movimento — causa externa ou interna — é nos perfeitamente desconhecida. Dizer «peso», «gravidade», «tendência para baixo» ou «tendência para o centro» é designar o facto; não é explicá-lo. E assim, à objecção indignada de Simplicio, dizendo que toda a gente conhece a causa desse efeito (o movimento para baixo) e que toda a gente sabe que é o peso, Salviati responde⁽³⁰⁸⁾: «Cometeis um erro, senhor Simplicio, deveríeis ter dito: toda a gente sabe que se lhe chama peso. Ora eu não vos pergunto o nome, mas a essência da coisa: dessa essência não sabeis mais do que sabeis da essência do principio do movimento circular das estrelas⁽³⁰⁹⁾, salvo o nome que lhe foi dado e que se nos tornou familiar e habitual em consequência da experiência frequente que dele fazemos mil vezes por dia. Com efeito, não compreendemos melhor qual é o principio e a virtude que move a pedra para baixo do que sabemos o que a impele para cima assim que ela se separa do que a projecta, ou o que move a Lua em círculo, salvo, tal como eu disse, o nome próprio e especial que atribuímos, a saber, a este o de *gravidade*, enquanto para aquele empregamos o termo mais geral de *virtude impressa*⁽³¹⁰⁾, e para o último falamos de inteligência, ou de forma assistente, ou informante, e a uma infinidade de outros damos por razão a *natureza*.»

⁽³⁰⁸⁾ Cf. *Dialogo*, II, p. 25.

⁽³⁰⁹⁾ *Ibidem*: Simplicio: «Bem. Mas como os graves e os leves não podem ter principio, nem interno nem externo, de se moverem circularmente, também o globo terrestre não se moverá com um movimento circular. — Salviati. Eu não disse que a Terra não possui nenhum principio, nem interno nem externo, de movimento circular; digo que não sei qual dos dois ela possui e o meu não saber não tem a força de lho retirar. Mas... será o mesmo que o dos outros corpos celestes.

⁽³¹⁰⁾ Sublinhado por nós.

Vê-se facilmente o caminho percorrido desde Pisa: era a leveza que, então, era declarada não ser mais do que um simples «nome», empregado — e falsamente substancializado — para designar efeitos (o movimento para cima) de uma causa subjacente. De ora em diante, o peso partilha a sorte daquela: também ele é apenas um «nome»... tal como um «nome» igualmente — nada mais do que um nome! — é ainda a famosa *vis impressa*, o *impetus* da escola parisiense, pretensa causa interna do movimento do objecto projectado. E vê-se perfeitamente a conclusão última para que tende e que insinua Galileu: todas estas «causas internas» não são mais do que «nomes»⁽³¹¹⁾.

A gravidade é, sem dúvida, alguma coisa. É até algo de muito importante. Essa propriedade, absolutamente fundamental, não forma, porém, a «natureza» dos corpos, não é uma propriedade *essencial* deles. Com efeito, na famosa e justamente célebre passagem de *O Ensayador* (textualmente reproduzida, para mais, na *Carta à Grã-Duquesa da Toscana*⁽³¹²⁾), passagem em que Galileu resume os fundamentos da sua filosofia da natureza, *não está em*

⁽³¹¹⁾ O peso (*pesantetur*) é apenas um nome, diz-nos Galileu. O que significa que ele se decide por um nominalismo positivista porque ignora a *natureza* do peso (*pesantetur*) (como ignora a da luz). Mas, quer num caso quer no outro, Galileu só se decide por esta ignorância porque não pode pro-ceder de outro modo. De facto sabe muito bem que a gravidade é uma força da mesma natureza que a atracção magnética. Assim também se proclama abertamente partidário da filosofia magnética de Gilbert (*Dialogo*, III, pp. 431, 429 e seg.); como este, cre que a Terra é um grande íman. Mas não sabe o que é a força magnética e as suas próprias investigações, consignadas nos *Discorsi e Dimostrazioni*, não lhe permitiram fundamentar uma verdadeira teoria, isto é, uma doutrina matemática do magnetismo. Quanto à do próprio Gilbert, é animista. E até mesmo a de Kepler.

⁽³¹²⁾ Cf. *Il Saggiatore*, *Opere*, vol. VI, pp. 341 e seg.: «Per tanto io dico che ben sento tirarmi dalla necessità, subito che concepisco una materia o sostanza corporea, a concepire insieme ch'ella è terminata e figurata di questa o di quella figura, ch'ella in relazione ad altre è grande o picciola, ch'ella è in questo o quel luogo ch'ella si muove o sta ferma, ch'ella tocca o non tocca un altro corpo, ch'ella è una, poca o molta, nè per veruna immaginazione posso separarla da queste condizioni; ma ch'ella debba essere bianca o rossa, amare o dolce, sonora o muta, di grato o ingrato odore, non sento farmi forza alla

questão o peso. Neste texto, que de maneira estranha — e significativa — faz lembrar textos análogos de Descartes, Galileu explica-nos: «Desde que concebo uma matéria ou uma substância corpórea, sinto-me impellido pela necessidade de conceber ao mesmo tempo que ela é terminada ou figurada com esta ou aquela figura, que é, em comparação com outras, grande ou pequena, que está neste ou naquele lugar e tempo, que se move ou fica imóvel, que toca ou não toca um outro corpo, que é uma ou que é em pequeno ou em grande número; e por nenhum esforço da imaginação a consigo separar destas condições; mas que ela tenha de ser branca ou vermelha, amarga ou doce, sonora ou muda, de odor agradável ou desagradável, não sinto que o meu espírito seja forçado a dever apreendê-la como estando necessariamente acompanhada de tais propriedades. E assim, se os sentidos não fossem por elas afectados, poder-se que nunca a razão nem a imaginação lá chegassem. Ora, por causa disto, acabo por pensar que esses sabores, odores, cores, etc. não são nada do lado do sujeito...⁽²⁶⁸⁾, não são nada mais do que nomes, e só possuem a sua existência no corpo sensitivo, de tal maneira que se o animal fosse suprimido, todas essas qualidades seriam aniquiladas e destruídas.»

É bom de ver: o que constitui a essência do corpo, ou da matéria, aquilo sem o qual este não pode ser pensado — e, por conseguinte, não pode ser — são, para Galileu tal como para Descartes, e isto pelas mesmas razões, as suas propriedades matemáticas. O número, a figura, o movimento: a aritmética, a geometria, a cinemática. A gravidade não se encontra aí incluída.

mente di doveria apprendere de cotati conditioni necessariamente accompagnata; anzi, se i sensi non ci fussero scorta, forse il discorso o l'immaginazione per sé stessa non verrebbe giammai. Per lo che vo to pensando che questi sapori, odori, colori, etc., per la parte del soggetto nel quale ci par che risegano, non sieno altri che puri nomi, ma tengono solamente lor residenza nel corpo sensitivo, et che rimosso l'animale, sieno levate e annichiate tutte queste qualità.» Cf. ibid., p. 350: «Molte affezioni che sono reputate qualità restano et fuor di noi non sono altro che nomi.»

⁽²⁶⁸⁾ Em termos modernos: não são nada no objecto, não têm qualquer realidade objectiva, apenas existem no sujeito cognoscente ou perceptivo.

Também não encontramos entre as qualidades puramente sensíveis, tais como a cor, o odor, o calor ou o som, as quais Galileu declara puramente sensíveis e dependentes, na sua própria existência, da do animal.

Onde se encontra ela então? Em parte nenhuma. Ou antes, algures entre o nada e o ser; entre o nada das aparências sensíveis e o ser do real matemático, a gravidade ocupa um lugar intermédio. Ou, se se quiser, um lugar de intermédio. E, assim, tem apenas uma existência de facto.

Como, aliás, negar a sua existência? Os corpos caem... os corpos físicos, bem entendido: os corpos geométricos, esses de modo nenhum «caem». É exactamente isto, o facto de os corpos «caírem», o que quer dizer: podem-se espontaneamente em movimento, que faz da física uma ciência especial e a distingue da geometria⁽²⁶⁹⁾: os corpos são graves... A gravidade pode não ser uma noção clara, matemática, e não designar uma qualidade essencial do corpo: a física, ciência do movimento e do repouso, não pode passar sem ela. Como poderia fazê-lo? Os corpos da física matemática, os corpos galileicos, ou, para os chamar pelo seu verdadeiro nome, os corpos arquimedianos, não são outra coisa que não seja «corpos» geométricos, euclidianos, dotados de gravidade. Noutros termos, a gravidade é a única propriedade «física» que eles possuem.

Os corpos «físicos» arquimedianos são, portanto, graves por definição, de certa maneira⁽²⁷⁰⁾. E é por isso que eles são móveis», o que os corpos geométricos de maneira nenhuma são⁽²⁷¹⁾. Daí que caíam e que possuíam uma tendência natural para se mo-

⁽²⁶⁸⁾ Os corpos geométricos — e, quando tratarmos da dinâmica de Descartes veremos as consequências disto — não têm, em si mesmos, nenhuma propensão nem para o movimento nem para o repouso. Também Descartes será obrigado não apenas a fazer Deus criar o mundo como também a criar o repouso.

⁽²⁶⁹⁾ É o que Torricelli sustentará abertamente, cf. *Opera Geometrica*, Florentiae, 1642, pp. 8 e seq., citado mais à frente.

⁽²⁷¹⁾ Um «corpo» puramente matemático, privado de peso («pesanteur»), não pode mover-se. Cf. mais à frente.

verem para baixo — o que de modo nenhum fazem os corpos geométricos.

A gravidade aparece então como estando ligada ao movimento: ou, se se preferir, o movimento — sem o qual não há física — aparece como estando ligado ao facto da gravidade. E é isto, o arquimedeanismo profundo do pensamento galilaico — arquimedeanismo em que já insistimos — que, junto com o seu realismo⁽³⁷²⁾, explica, ainda melhor do que a influência inconsciente da experiência, a impossibilidade, para Galileu, de formular correctamente o princípio de inércia.

Na física galilaica, a gravidade continua, portanto, a ser, apesar de tudo, uma fonte de movimento. E até, dissemos-lo, a única fonte de movimento que se conhece. O choque, com efeito, não faz mais do que transferir de um móvel para outro um movimento (uma velocidade) já existente: a queda, pelo contrário, produ-lo. E assim, para criar movimento, ou, ainda, para conferir a um corpo uma velocidade, há, na física galilaica, que o deixar cair de «cima» para «baixo»⁽³⁷³⁾.

Que a gravidade seja uma fonte de movimento, é uma posição bem fácil de admitir. É de bom senso. De senso comum até. É igualmente uma proposição da física aristotélica. Mas a física aristotélica não pode, com toda a evidência, admitir que ela seja a única fonte: isso seria admitir, ao mesmo tempo, a unicidade da matéria, abandonar a divisão do cosmos em duas

⁽³⁷²⁾ Galileu não procura construir um mundo matemático mas sim apreender a essência matemática do mundo real, móvel e, portanto, temporal. Cf. *A Lei da Queda dos Corpos*.

⁽³⁷³⁾ *Diálogo*, I, p. 53: SALV. «Il moto per la linea orizzontale, che non è declive né elevata, è moto circolare intorno al centro: adunque il moto circolare non s'acquisterà mai naturalmente senza il moto retto precedente, ma bene, acquistato che è si sia, si continuerà egli perpetuamente con velocità uniforme.»

regiões, celeste e sublimar, e reconhecer que as mesmas leis e que a mesma física têm igual validade na Terra e nos céus.

Ora, é justamente a tese de Galileu. E o curioso mito cosmogónico que encontramos mesmo no início do *Diálogo* (e que ele, para uma vez mais indicar as suas preferências filosóficas, atribui a Platão, ainda que Platão nunca tenha ensinado algo semelhante), mito em que vemos Deus deixar cair os planetas antes de lhes conferir o movimento circular nas suas órbitas respectivas⁽³⁷⁴⁾, sem dúvida que só nos é apresentado para nos fazer tocar directamente essa oposição entre o aristotelismo e o galileísmo, entre a ciência antiga e a ciência clássica, e para nos fazer apreender bem o alcance filosófico dos princípios essenciais desta última: nomeadamente do da uniformidade das leis.

Poder-se-ia dizer que o pensamento de Galileu percorre em sentido inverso a manobra (*démarche*) inicial do pensamento de Copérnico: este aplicava à Terra as leis estabelecidas para os céus⁽³⁷⁵⁾; aquele, ao contrário, aplica aos céus os princípios estabelecidos para a Terra.

O movimento de queda foi reconhecido como sendo o único movimento natural ao cimo da Terra. Galileu proclama que o mesmo se passa nos céus, que o movimento circular dos planetas não é nada um movimento «natural», isto é, espontâneo, e que,

⁽³⁷⁴⁾ *Diálogo*, I, p. 44: «Podemos dizer razoavelmente que a natureza, para conferir a um móvel que primeiramente se encontra em repouso uma velocidade determinada, procede fazendo-o mover-se, durante algum tempo e através de um qualquer espaço, em linha recta. Estando isto admitido, podemos imaginar Deus tendo criado o corpo, por exemplo, o de Júpiter, e ao qual decidu querer dar uma determinada velocidade, que, mais tarde, deve conservar perpetuamente uniforme: com Platão, poderíamos dizer que ele haveria de mover-se primeiramente com um movimento rectilíneo e acelerado e depois, tendo adquirido um grau determinado de velocidade, de voltar o seu movimento rectilíneo em movimento circular, cuja velocidade deveria então, naturalmente, ser uniforme.» Convém notar que este mito é retomado por Sagredo nos *Discorsi*, IV, p. 263.

⁽³⁷⁵⁾ Cf. *mais atrás*.

para produzir movimento, ninguém, nem sequer Deus, poderia servir-se de meios diferentes daqueles, ou, mais exactamente, daquelle de que nos servimos na Terra.

Sem dúvida que Galileu é prudente. A omnipotência divina não está em causa. Deus poderia muito bem criar movimento directamente. Mas isso seria, de alguma maneira, mais um milagre⁽⁵⁷⁸⁾. Ora, o da criação pura e simples dos corpos já é suficientemente difícil. Em boa ciência, não há que sobre-carregar o Senhor com mais um, aliás perfeitamente inútil. Além disso, esse movimento, que Deus criaria directamente, não seria um movimento natural.

A inversão da situação — em relação ao aristotelismo — é completa. O movimento circular dos planetas, concebido como espontâneo, provava, para Aristóteles, a diferente natureza da Terra e dos céus. Pelo contrário, concebido como um movimento derivado, demonstra para Galileu que os dois possuem uma natureza comum. Com efeito, as características privilegiadas do movimento circular (movimento à volta do centro) explicam-se justamente pelo facto da gravidade⁽⁵⁷⁷⁾.

O facto da gravidade condiciona e explica o facto do movimento. O movimento de queda é o movimento natural de qualquer corpo entregue a si mesmo. Além disso, o movimento de queda, já enquanto movimento (cinematicamente), possui particularidades absolutamente excepcionais. Não é um movimento como os outros. Não só é um movimento constante e continuamente acelerado, o que quer dizer que um corpo animado de tal movimento adquire progressivamente todos os graus de velocidade ou de lentidão, sem deixar passar um só e sem se demorar

(577) Milagre que Descartes pede ao seu Deus, e de que Newton dispensa o seu.

(578) Ainda para Bruno, os planetas giravam porque não pesavam.

num só (o que o torna eminentemente apto para conferir a um dado corpo um determinado grau de movimento, isto é, de velocidade⁽⁵⁷⁸⁾), mas representa ainda um tipo bem determinado⁽⁵⁷⁹⁾ de movimento que se realiza, o mesmo, onde quer que um corpo caia em queda livre ou desça por um plano inclinado. Bem mais, não é só o tipo, mas o próprio movimento que se realiza, idêntico, seja qual for o corpo que desça. Com efeito, seja qual for o corpo que caia, isto é, seja qual for o seu peso ou a sua constituição física, cairá sempre com a mesma velocidade⁽⁵⁸⁰⁾.

Quando se pensa em tudo isto, quando se pensa nomeadamente no facto de os corpos, sejam eles quais forem, caírem todos segundo a mesma lei e com a mesma velocidade, compreende-se a tentativa de Galileu de desenvolver a sua dinâmica como uma dinâmica da queda. É compreende-se também o orgulho da declaração galileica ao anunciar pela boca de Salvati que, sem dúvida, toda a gente sempre observou que o movimento dos graves descendo a partir do repouso não é uniforme, e sim continuamente acelerado, mas que esse conhecimento geral não traz benefício algum quando não se sabe segundo que proporção se dá esse crescimento de velocidade: quando não se sabe nomeadamente que ele se dá segundo a relação dos números ímpares *ab unitate*, isto

(578) *Dialogo*, I, p. 45, à margem: *Tra le quiete e qualsisia grado di velocità mediano infinita gradi di velocità minori*.

(579) *Dialogo*, I, 46; II, p. 248; *Discorsi*, III, pp. 198 e seg. Cf. *A Lei da*

Queda dos Corpos.

(580) Cf. *Dialogo*, II, p. 249. «Salv: *palle di una, di dieci, di cento, di mille libbre, tutte misureranno le medesime cento braccia nel medesimo tempo*». Cf. *Discorsi*, pp. 128 e seg. Os historiadores de Galileu e da física confundem habitualmente duas proposições bem diferentes: 1) aquela que Galileu funda estabelecido em Pisa por experiências bem feitas — e não tinha necessidade de fazer — (cf. L. COOPER, *Aristote, Galileo and the tower of Pisa, University of Paris*, 1937) e que, na realidade, já o fora por Benedetti (cf. *Nuove Aforismi...*), e segundo a qual os corpos da mesma natureza caem com uma mesma velocidade, e 2) aquela cuja demonstração nos é dada pela primeira vez pelos *Discorsi*, segundo a qual todos os corpos, *qualquer que seja a sua natureza*, caem com uma velocidade igual.

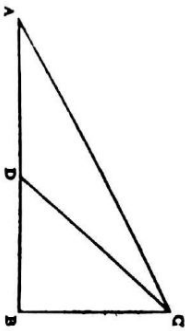
é, que a relação dos espaços percorridos é igual à dos quadrados do tempo ⁽³⁸¹⁾.

Descobrir as leis matemáticas do movimento, descobrir que o movimento de queda segue a Lei do número: havia aí verdadeiramente de que se orgulhar.

A dinâmica de Galileu baseia-se, toda ela, no «postulado» de «que os graus de velocidade adquiridos pelo mesmo móvel em

planos diversamente inclinados são iguais quando as alturas dos planos o forem» ⁽³⁸²⁾, e o comentário de Salviati acrescenta ⁽³⁸³⁾: «O autor chama altura de um plano inclinado à perpendicular baixada da extremidade superior do plano para a horizontal orientada pela extremidade inferior. Se, por exemplo, a linha AB for paralela ao horizonte e se, sobre ela, forem inclinados os dois planos CA e CD, o autor dá à perpendicular CB que cai sobre a horizontal BA o nome de altura dos planos CA e CD, e supõe que se o mesmo móvel descer pelos planos inclinados CA e CD os graus de velocidade por ele adquiridos nas extremidades A e D serão iguais, porque a altura dos planos é a mesma, a saber, CB. E há que entender também que seria esse mesmo grau de velocidade que o mesmo móvel, caindo do ponto C, teria em B.»

Tal como a bem conhecida definição de movimento uniformemente acelerado, o «postulado» de Galileu não faz uso de no-



⁽³⁸¹⁾ Cf. *Dialogo*, II, p. 248. E disto, como de muito mais coisas que dizem respeito ao movimento, acrescenta Salviati, a demonstração é puramente matemática. Cf. *Discorsi*, III, p. 190.

⁽³⁸²⁾ Cf. *Discorsi e dimostrazioni*, III, *Opere*, vol. VIII, p. 206. Note-se que o mesmo se passa para Torricelli. Mas, para este, o postulado galileico transforma-se em axioma. Cf. TORRICELLI, *Opera geometrica*, p. 98.

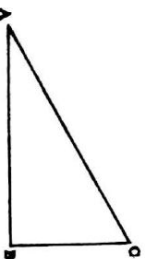
⁽³⁸³⁾ *Discorsi*, III, p. 205.

ções dinâmicas ⁽³⁸⁴⁾. É melhor ainda do que essa definição, ou, mais exactamente, melhor ainda do que os raciocínios que a introduzem, ele mostra-nos até que ponto o pensamento galileico é dominado pelo facto da gravidade, pela concepção do movimento natural dos corpos para baixo. Com efeito, o postulado galileico não menciona causa alguma; nenhuma força; evita não só o nome de «gravidade», mas até o de «grave»; e admite, como sendo evidente, que qualquer móvel colocado num plano inclinado o desça aumentando de velocidade!

O postulado galileico não nos parece, a nós, nada evidente. E decerto não teríamos a ideia de o colocar no início de um tratado de mecânica. Contudo, Galileu fá-lo e Sagredo acha ⁽³⁸⁵⁾ «que uma tal hipótese tem tantas probabilidades que merece receber acordo sem controvérsia, estando sempre entendido que todos

⁽³⁸⁴⁾ Cf. *A Lei da Queda dos Corpos*.

⁽³⁸⁵⁾ Cf. *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 205. No *Dialogo* Sagredo teve alguma dificuldade em compreender o sentido do postulado galileico. No entanto, assim que o compreende, admite-o de imediato. Cf. *Dialogo*, I, p. 47: «Sai. Vós raciocinais perfeitamente. E como eu sei que não hesitais em conceder que a aquisição do impetus se dá através do afastamento do termo de onde parte o móvel e a aproximação para o centro para onde tende o seu movimento, tereis alguma dificuldade em conceder que dois móveis iguais, quando descem por linhas diferentes, sem qualquer impedimento, adquirem impetus iguais, sempre que as aproximações ao centro sejam iguais.—Sagredo. Não compreendo bem a questão.—Sai. Explicar-me-el melhor trazendo uma figura. Tracerei, pois, uma linha AB paralela ao horizonte e, sobre o ponto B, levantarei a perpendicular BC à qual unirei a linha inclinada CA. Está entendido que a linha CA é um plano inclinado, perfeitamente duro e polido, sobre o qual desce uma bola perfeitamente redonda e de uma matéria extremamente dura, e que uma bola semelhante desce livremente pela perpendicular CB; pergunto, pois, se vós concebereis que o impetus da bola que desce pelo plano CA para o termo A poderia ser igual ao impetus adquirido pelo outro no ponto B quando da desce pela perpendicular CB.—Sagredo. Creio resolutamente que sim; pois que, com efeito, os dois se aproximaram do centro com uma igual medida e, como já concedi, os seus impetus serão igualmente suficientes para os conduzir a ambos à mesma altura.»



os impedimentos acidentais e exteriores estão afastados, que os planos são bem sólidos e polidos, que o móvel é perfeitamente redondo, de maneira a que plano e móvel não apresentem rugosidades. Estando afastados todos esses obstáculos, todos esses impedimentos, as luzes naturais mostram-me sem dificuldade que uma bola com peso e perfeitamente redonda descendo pelas linhas CA, CD e CB chegará às extremidades A, D e B com *impetus* iguais».

Sagredo tem muita razão em insistir na necessidade de afastar todos os «impedimentos exteriores»: as leis da física galilaica são, com efeito, leis «abstractas», que sem mais não têm validade para os corpos reais. Sem dúvida que respeitam a uma realidade: mas essa realidade não é a da experiência quotidiana; é uma realidade ideal e abstracta. Nós não precisamos que nos lembrem isto; estamos demasiadamente habituados a essa abstracção. Precisamos até do contrário: de que nos recordem que o mundo ideal e abstracto da física matemática não é, para falar com verdade, o mundo real⁽³⁸⁸⁾. Mas, mesmo para aquele mundo, não nos parece nada que o postulado galilaico seja evidente (*alMerle sovi*); não é, para nós, doado de uma evidência imediata. As nossas «luzes naturais» iluminam-no bastante mal. E que nós não crescemos com Benedetti. Nem com Arquimedes. Já desde há muito tempo que não somos arquimedianos.

Voltemos agora ao estudo do movimento. Acabámos de ver que a velocidade se adquire na e pela descida. Mas como é que ela se perde? No mundo arquimedianos da física galilaica, esse

⁽³⁸⁸⁾ Estamos de tal modo habituados a hipostasiar, como sendo uma realidade, os resultados — ou as condições — das nossas operações de cálculo que, ou admitimos ingenuamente que os limites das nossas possibilidades de determinação são propriedades do real (assim, por exemplo, admitimos ingenuamente a identidade dos constituintes últimos da matéria, moléculas, átomos, electrões) ou fazemos deles um «postulado». A história recente da física oferece exemplos de tal modo impressionantes desta tendência que pensamos ser inútil insistir.

mundo em que todos os impedimentos exteriores ao movimento estão «afastados» antecipadamente, ela só se perde pela ascensão (*remontée*). O postulado galilaico implica, com efeito, que a translação de energia seja qual for a distância percorrida pelo grave, esta é irrelevante; o *impetus* ou momento adquirido é o mesmo⁽³⁸⁷⁾. É claro que, ao invés, seja qual for a distância percorrida, a energia despendida para elevar um grave a uma determinada altura há-de ser sempre a mesma. E que essa energia há-de ser exactamente igual à que o grave adquire ao descer dessa altura. Noutros termos, que o grave que desce adquire um *impetus* ou momento que chega, precisamente, para o fazer tornar a subir a rampa⁽³⁸⁸⁾.

Estas são consequências necessárias da concepção galilaica de movimento. E assim, Galileu, desde logo, poupa-se a demonstrá-las. Limita-se, de facto, a dizer-nos que, se se imaginar uma bola perfeita descendo ao longo de um plano inclinado e tornando a subir ao longo de um outro plano, e se se eliminarem todos os obstáculos que prejudiquem «a experiência (nomeadamente a perda do *impetus* no ângulo dos dois planos (...)) parece que o espírito continuará a conceber que o *impetus* (o qual, com efeito, encerra a força de toda a queda) seria capaz de fazer o móvel tornar a subir à mesma altura»⁽³⁸⁹⁾. Dito de outra maneira: para Galileu a proposição é evidente. É certo que nos propõe aceitar esta afirmação, cuja verdade absoluta será estabelecida mais tarde, apenas como um «postulado». Sabemos bem que isso é uma maneira de falar. É certo que ele no-lo esclarece previamente através da «experiência» infinitamente engenhosa do péndulo, que, caindo do mesmo ponto, volta sempre a subir à mesma altura, isto é, ao mesmo plano horizontal, seja qual for o arco

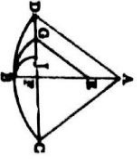
⁽³⁸⁷⁾ Cf. *Dialogo*, I, pp. 46, 47. *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 205.

⁽³⁸⁸⁾ Cf. *Dialogo*, I, p. 47 citado *supra*, *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 202

⁽³⁸⁹⁾ Cf. *Discorsi e dimostrazioni*, III, pp. 218, 244.

da ascensão⁽²⁰⁰⁾. A experiência é uma maravilha de engenho. Todavia — e Galileu não no-lo esconde — é mais uma experiência de pensamento. E, acrescentamos nós, para ser concludente, o raciocínio de Galileu pressupõe justamente o postulado que se trata de demonstrar.

Entendamo-nos. Não pretendemos de maneira nenhuma encontrar motivos de queixa em Galileu. O fim do nosso estudo não é o de descobrir os erros (*fautes*) formais dos raciocínios de Galileu; mas sim o de desvelar a subestrutura real do seu pensamento, e nomeadamente o de nos fazer reconhecer o papel que aí desempenham o facto e a noção de peso. Para falar verdade, tínhamos podido tornar a nossa tarefa mais fácil. Para apreciar esse papel, e fazer-nos ver o valor dinâmico da gravidade, teríamos podido limitar-nos a citar a demonstração, dada por Galileu, do seu primeiro «postulado».



(200) Cf. *Discorsi*, III, p. 206, cf. E. JOUVEN, *Lectures de Mécanique*, v. I, p. 98: «Imaginai que esta folha é uma parede vertical, que nela está colocado um prego do qual está suspensa uma bola de chumbo, de uma ou de duas onças, por um fio AB de dois ou três côvados de comprimento e perpendicular ao horizonte. Traçamos sobre a parede uma horizontal CD separando em esquadria o fio AB, o qual está aproximadamente à distância de dois dedos da parede. Afastemos o fio AB e a bola na posição AC e larguemos a bola. Veremos que esta desce desce desce e ultrapassa a extremidade B de tal modo que ela ascenderá, seguindo BD, mais ou menos até à linha traçada CD; falta, no entanto, um pequeno intervalo para que ela a alcance; circunstância que se deve precisamente à resistência do ar e do fio. Daqui podemos concluir, em boa verdade, que o *impetus* adquirido pela bola no ponto B, na sua descida ao longo do arco CB é tal que basta fazê-la ascender, ao longo de um arco idêntico BD, à mesma altura. Uma vez feita e refeita esta experiência, fixemos na parede, contra a vertical AB, por exemplo em E ou em F, um prego que sobressaia cinco ou seis dedos; girando o fio AC como há pouco, a bola descreverá o arco CB; quando ela chegar a B, o fio prender-se-á no prego E e a bola será obrigada a percorrer a circunferência BG descrita em relação a E como centro. Veremos então o que poderá produzir o mesmo *impetus*, o qual, adquirido na extremidade B, é capaz de fazer ascender o móvel

Esse postulado, mais tarde transformado em teorema⁽²⁰¹⁾, faz a velocidade de um corpo em descida depender da altura da sua queda, seja qual for a distância percorrida. Ora, a lei da queda dos graves, entretanto estabelecida por Galileu, faz essa velocidade depender do tempo transcorrido, isto é, da duração da descida, que, com toda a evidência, não pode ser a mesma na vertical (em queda livre) e no plano inclinado. Galileu vai então mostrar-nos que a lei da queda — que ele admite ser válida para a descida do grave pelo plano inclinado⁽²⁰²⁾ — conduz justamente ao teorema em questão. «Foi estabelecido, diz-nos ele pela boca de Salviati⁽²⁰³⁾, que num qualquer plano inclinado a velocidade ou a quantidade de *impetus* de um móvel que parta do repouso cresce com o tempo (é a definição dada pelo nosso autor para o movimento naturalmente acelerado); logo, como foi dito na pro-

segundo o arco BD até à altura da horizontal CD. Pois bem... Ireis ver com agrado a bola alcançar a horizontal sobre o ponto G; o mesmo acontecerá se o prego estiver colocado mais em baixo, por exemplo, em F; a bola descreverá então o arco BF e a sua ascensão terminaria sempre na linha CD e, se o prego estivesse demasiado baixo para que o comprimento do fio permitisse à bala alcançar a altura CD (tal aconteceria se o prego estivesse mais perto de B do que CD) o fio enrolar-se-ia em torno do prego. Esta experiência não permite duvidar da verdade do princípio suposto. Sendo os dois arcos CB e BD iguais e estando colocados de modo semelhante, o momento adquirido na descida sobre CB é o mesmo do que aquele que seria adquirido seguindo DB; mas o momento adquirido em B seguindo CB é capaz de fazer tornar a subir o mesmo móvel seguindo BD; portanto, o momento adquirido seguindo DB é igual àquele que o mesmo móvel ascenderia ao longo do mesmo arco de D para B, de forma que, de um modo geral, o momento adquirido na queda segundo um qualquer arco é igual àquele que pode fazer ricochetear o mesmo móvel ao longo do mesmo arco. Mas todos os momentos que fazem ricochetear o móvel ao longo de todos os arcos BD, BG, BI, são iguais pois que são feitos do momento adquirido na descida CB, como a experiência o mostra. Portanto todos os momentos adquiridos na descida segundo os arcos DB, GB, JB, são iguais.»

(201) Cf. *Discorsi*, III, p. 215.

(202) Cf. *Discorsi*, III, p. 218. Cf. *Diálogo*, I, p. 48.

(203) Cf. *Discorsi*, III, p. 216.

posição precedente, os espaços percorridos estão na razão dupla dos tempos, e, em consequência, dos graus de velocidade; assim foram os *impetus* no primeiro movimento, assim serão proporcionalmente os graus de velocidade adquiridos no mesmo tempo, pois uns e outros crescem segundo a mesma proporção de tempo.» Ora, como a velocidade do móvel depende do *impetus* ou «momento» inicial, e esses *impetus* ou «momentos» variam com a inclinação do plano, segue-se que o móvel que desça por um plano inclinado, ainda que indo menos depressa, se move em maior extensão (*plus longuement*) e chega ao termo (*au bas*) da sua corrida com a mesma velocidade final do que se caísse em queda livre.

Assim, a prova do postulado galileico, o ajustamento (*accord*) entre o espaço e o tempo faz-se por meio de noções dinâmicas: a velocidade do grave em descida é ligada, expressamente, à grandeza do *impetus* inicial.

Teríamos então voltado à física do *impetus*? Ou até, tal como Duhem pensava⁽⁵⁸⁴⁾, não teríamos nunca de lá saído? Questão séria e que há que examinar de mais perto. O que é, com efeito, esse *impetus* galileico⁽⁵⁸⁵⁾?

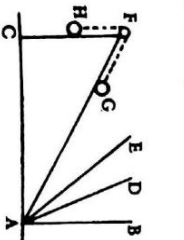
«Consideremos em primeiro lugar, diz-nos Galileu⁽⁵⁸⁶⁾, como facto bem conhecido, que os momentos ou as velocidades de um mesmo móvel são diferentes em planos diferentemente inclinados; que o máximo tem lugar na linha vertical; que nas linhas inclinadas a velocidade diminui à medida que a linha se afasta da vertical, isto é, que se inclina mas obliquamente, e que, por conseguinte, o *impetus*, o *talento*, a energia, dir-se-á o *momento* de descida, é diminuído no móvel pelo plano em que este se apoia e desce.

⁽⁵⁸⁴⁾ Cf. DUHEM, *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 567.

⁽⁵⁸⁵⁾ Cf. *A Lei da Queda dos Corpos*.

⁽⁵⁸⁶⁾ *Discorsi*, III, p. 215.

«Para melhor nos darmos conta disso, admitamos que a linha AB seja vertical. Inclínemo-la a seguir diversamente no horizonte como em AD, AE, AF, etc. Digo que



o *impetus máximo* e total do grave para descer tem lugar na vertical BA, que ele é menor em DA, menor ainda em EA, que vai diminuindo mais quando se passa à linha mais inclinada FA, e que, finalmente, é completamente anulado na horizontal CA, onde o móvel se encontra indiferente ao movimento e ao repouso e não apresenta por si próprio qualquer tendência para se mover para algum lado, nem nenhuma resistência a ser posto em movimento. Com efeito, do mesmo modo que é impossível que um grave ou que um conjunto de graves se mova naturalmente para cima afastando-se do centro comum para que tendem as coisas pesadas, assim é impossível que ele se mova espontaneamente se, no seu movimento, o seu centro de gravidade não se aproximar do centro comum; logo, na horizontal que se estende sobre uma superfície igualmente distante do dito centro e que não tem inclinação o *impetus* ou momento do móvel será nulo.»

O *impetus* do móvel não é, pois, nada mais do que a impulsão dinâmica que a sua gravidade lhe confere: já não é, de maneira nenhuma, a causa interna que produz o movimento, como era na física parisiense. É o mesmo que o seu momento, isto é, o produto do peso pela velocidade. No móvel chegado ao termo da sua descida, é a energia total, ou o *impetus* total; no móvel que começa o seu movimento, é o produto do peso pela velocidade inicial, noutros termos a diferencial de velocidade. Por fim, para o móvel em repouso, o *impetus* não é mais do que a velocidade virtual⁽⁵⁸⁷⁾.

O *impetus* ou movimento inicial, a impulsão ou diferencial de velocidade varia consoante a inclinação do plano em que o grave se encontra. E para o medir, e para ao mesmo tempo me-

⁽⁵⁸⁷⁾ Cf. *Discorsi*, III, p. 216.

dir a sua variação, apenas é preciso pensar no facto de que, manifestamente, o *impetus* da descida de um grave é tão grande quanto a resistência ou a força mínima que basta para a impedir ou deter; ora ⁽²⁸⁾, «para medir essa força, essa resistência, ser-vir-me-ei da gravidade de um outro móvel. Imaginemos que no plano FA repousa um móvel G ligado a um fio que passa sobre F e suporta um peso H, e consideremos que a queda de H, ou a sua elevação na vertical, é sempre igual a toda a elevação ou a toda a queda de G ao longo do plano inclinado AF, mas não à elevação nem à queda vertical, a única na qual, como é evidente, o móvel G (ou qualquer outro móvel) exerce a sua resistência. No triângulo AFC, por exemplo, o movimento do móvel G para cima, de A para F, é composto do movimento transversal e horizontal AC e do movimento vertical CF; ora, no que respeita ao deslocamento horizontal, a resistência ao movimento é nula, tal como foi dito, porque esse deslocamento não produz nenhuma diminuição nem nenhum aumento da distância ao centro das coisas graves, distância que numa horizontal se conserva sempre a mesma; por conseguinte, resulta que a resistência se deve apenas ao facto de o móvel ter de penosamente subir a vertical CF. Já, então, que o grave G, movendo-se de A para F, resiste apenas pelo facto da elevação vertical CF, mas que o outro grave H desce segundo a vertical de todo o comprimento FA, e porque a relação entre a ascensão e a descida permanece sempre a mesma, seja o movimento dos móveis grande ou pequeno (eles estão, com efeito, reunidos em conjunto), podemos afirmar que, quando houver equilíbrio, isto é, repouso dos móveis, os momentos, as velocidades ou a tendência deles para o movimento, isto é, os espaços que eles percorreriam no mesmo tempo, deverão estar na razão inversa das suas gravidades, conforme à lei que se demonstra em todos os casos de movimentos mecânicos ⁽²⁹⁾. Em consequência, será suficiente, para impedir a queda de G, que H seja tanto menos pesado em relação àquele quanto o espaço CF for menor

⁽²⁸⁾ Cf. *Discorsi*, III, pp. 216 e seg.

⁽²⁹⁾ Cf. *Le Meccaniche, Opere*, vol. II, pp. 156, 164, 168, 170, 185.

em relação ao espaço FA. Logo, estando os graves G e H entre si como FA e FC, seguir-se-á que o equilíbrio ocorrerá, isto é, que os graves H e G terão momentos iguais e que o seu movimento cessará. E porque estamos convencidos de que, para um móvel, o *impetus* (a energia, o momento ou a propensão ao movimento) é igual à grandeza da força ou resistência mínima que basta para o manter fixo, concluiremos que o grave H é suficiente para impedir o movimento do grave G; logo, o peso mais pequeno, H, que exerce o seu momento total sobre a vertical FC, será a medida precisa do momento parcial que o maior peso G exerce sobre o plano inclinado FA; mas a medida do momento total do mesmo grave é ele próprio (pois para impedir a queda vertical de um grave é precisa a acção contrária de um grave igual que seja, porém, livre de se mover verticalmente). Logo, o *impetus* ou momento parcial de G no plano inclinado FA está para o *impetus* máximo e total do mesmo G na vertical FC como o peso H para o peso G, isto é, por construção, como a altura FC do plano está para o plano FA.»

O raciocínio galileico, que faz do *impetus* uma grandeza e que — associando assim a dinâmica à estática ⁽³⁰⁾ — mede o *impetus* pela resistência, isto é, em última análise, pelo peso que contrabalança a impulsão para o movimento ⁽³¹⁾, é uma transposição do raciocínio arquimedeano. A *gravitas secundum situm* torna-se um *impetus secundum situm*, e a estática transforma-se em dinâmica porque a própria gravidade é interpretada dinamicamente por Galileu.

Ora, se assim é, se a dinâmica de Galileu é, no seu fundo mais profundo, arquimediana e inteiramente baseada na noção de peso, resulta daí que Galileu não poderia formular o princípio de inércia. Daí que ele nunca o tenha feito.

Com efeito, para o poder fazer, isto é, para poder afirmar a persistência eterna não do movimento em geral, mas do mo-

⁽³⁰⁾ Cf. E. JOUGURT, *Lectures de Mécanique*, v. I, p. 106, n. 119;

pp. 111 e seg.

⁽³¹⁾ E assim, considera a «inércia» kepleriana perfeitamente supérflua.

vimento em linha recta, para poder representar-se um corpo, enquanto a si próprio e privado de qualquer suporte, como pertencendo em repouso ou continuando a mover-se em linha recta e não em linha curva⁽⁶⁰²⁾, teria sido preciso que ele pudesse conter o movimento de queda como um movimento não natural, mas, ao contrário, como «adventício» e «violento», isto é, como sendo causado por uma força exterior. O que quer dizer que teria sido preciso que, levando até ao fim o matematismo da sua filosofia da natureza, Galileu chegasse a excluir a gravidade não só da constituição essencial do corpo, mas até da sua constituição «efectiva». Noutros termos, teria sido preciso que ele pudesse reduzir o ser efectivo do corpo às suas determinações essenciais. E isto, por sua vez, quer dizer: teria sido preciso que, deixando de ser arquimediano, se tornasse cartesiano.

Foi dito algumas vezes, e nós mesmos o dissemos, que o caminho para o princípio de inércia estava, para Galileu, obstruído pela experiência astronómica do movimento circular dos planetas⁽⁶⁰³⁾, movimento inexplicável e, portanto, eminentemente «natural». Isto parece-nos incontestável. Não era, aliás, o único obstáculo que a astronomia, ou, mais exactamente, a consideração do universo astral, opunha à invenção do princípio de inércia: a crença na finitude desse universo erigia uma barreira intrançável diante do pensamento galileico. Teria bastado para determinar o fracasso deste. Mas, para mais, a física celeste encontrava-se plenamente de acordo com a física terrestre: pois esta, inteiramente baseada numa concepção dinâmica da gravidade, fonte do movimento e propriedade constitutiva e inadmissível dos

⁽⁶⁰²⁾ Para os predecessores de Galileu, o movimento em linha recta do projectil era evidente. A trajectória só se encurvava no final do trajecto. Para Galileu, ela encurvava-se desde o início do movimento: por conseguinte, o movimento do projectil em linha recta torna-se, para ele, rigorosamente impossível.

⁽⁶⁰³⁾ Cf. E. WOHLEWITZ, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», *Zeitschrift für Völkerpsychologie*, vol. XV, pp. 129 e seg., 346 e seg.

seus corpos, não podia admitir o carácter privilegiado do movimento rectilíneo⁽⁶⁰⁴⁾.

Acabámos de ver que a impossibilidade, para Galileu, de formular o princípio de inércia se explica, por um lado, pela sua recusa de renunciar inteiramente à ideia de cosmos, isto é, à a infinidade do espaço; e, por outro lado, pela sua incapacidade de conceber o corpo físico (ou o corpo da física) como estando privado do carácter constitutivo da gravidade.

Por que é que Galileu se recusa a admitir a infinidade do espaço? Questão à qual nos é impossível responder. Somos obrigados a contentarmo-nos com o seguinte facto: o universo galileico é um universo finito⁽⁶⁰⁵⁾. Talvez — mas isto não é mais do que uma hipótese — ele se tivesse horrorizado com o exemplo de Bruno. Queremos dizer: com o exemplo das consequências a que a doutrina da infinidade tinha conduzido este⁽⁶⁰⁶⁾.

E por que é que ele é incapaz de abstrair da gravidade? Muito simplesmente porque não sabe o que ela é. Pode muito bem abstrair-se de qualquer teoria do peso, mas não da gravidade, dado imediato da experiência e do senso comum. Tal como o seu mestre, Galileu não é capaz de a explicar. Não tem nada por que a substitua.

⁽⁶⁰⁴⁾ Cf. *Diálogo*, II, p. 62, onde o movimento circular é apresentado como «natural» para todos os corpos e não apenas para os corpos celestes e II, p. 193, onde Galileu nos diz que o movimento rectilíneo não existe neste mundo.

⁽⁶⁰⁵⁾ Cf. *Diálogo*, I, pp. 42 e seg., citado mais atrás.

⁽⁶⁰⁶⁾ V. o texto citado mais atrás, e *Diálogo*, III, pp. 324, 375, 388. Cf. *Letra à Ingoli, Opere*, vol. VI, pp. 518 e seg.; 524 e seg.

⁽⁶⁰⁷⁾ Dissemos já anteriormente que Galileu que, sem sombra de dúvida, conhecia a obra de Bruno, nunca o nomeia: quando Kepler lhe envia uma interpretação bruniana das descobertas do *Nuntius Sidereus*, Galileu não responde. Percebe-se bem: o nome de Bruno é tabu. Cf. *Dissertatio cum Nuntio Sidereo, Opere*, vol. III, 1, pp. 105 e seg.

Poder-nos-iam objectar, sem dúvida, que a nossa explicação válida para Arquimedes, não o é no que respeita a Galileu. Arquimedes, na ausência de qualquer teoria física da gravidade, era forçado a admiti-la como um facto. Mas o que é verdadeiro para a sua época já não o é para a de Galileu. Uma teoria física da gravidade existe. É a de Gilbert, que, modificando-a, Kepler adopta. Por que é então que Galileu, que admira Gilbert quase tanto como admira Copérnico⁽¹⁰⁸⁾, de que Gilbert tem razão, e clama-o pela boca de Sagredo⁽¹⁰⁹⁾, de que Gilbert tem razão, e que a Terra é um grande iman, por que é então que ele não a adopta? A resposta parece-nos evidente: Galileu pode muito bem admirar Gilbert, pode muito bem aceitar a doutrina deste sobre a natureza magnética da gravidade, mas não a pode utilizar porque

(108) Cf. *Diálogo*, III, pp. 432 e seg.: «SALV. Io sommamento laudo ammirato ed invidia questo autore, per essergli caduto in mente concetto tanto stupendo, circa a cosa meneggiata da infiniti ingegni sublimi, nè da alcuno avvertito; parmi anco degno di grandissima laude per le molte nuove e vere osservazioni fatte da lui, in vergogna di tanti autori mendaci i vani, che scriuono non sol quel che sanno, ma tutto quello che senton dire dal vulgo sciocco, senza cercare di assicurarsene con esperienza...» E, um pouco mais adiante, depois de ter dirigido a Gilbert algumas críticas, Galileu continua: «Nè perciò deve diminiarsi la gloria del primo osservatore; nè lo stimo meno, anzi ammiro più assai, il primo inventor della lira... che cent'altri artisti che me i conseguenti secoli tal professione ridussero a grand'esquisitezza.» Cf. pp. 493 e seg. A simpatia de Galileu por Gilbert é, sem dúvida, igualmente favorecida pelo copernicanismo resoluto deste. Cf. G. GILBERTI, Colehestrensis, *De Magnete*, Londini, 1600, l. VI, c. III, p. 220: «Jam vero cum coelum totum, et vastam mundi amplitudinem, in gyrum rotari, absurdius quam dici potest vulgares philosophi imaginentur: relinquatur ut terra diurnam immutationem perferat. Dies igitur hic qui dicitur naturalis est meridiani alicuius telluris a sole ad solem revolutio. Revolvitur vero integro cursu, a stella aliqua fixa ad illam rursum stellam. Quae natura moventur corpora motu circulari, aequali et constanti, illa in suis partibus varijs instruntur terminis. Terra vero non Chaos est, nec moles indigesta: sed astrae sua virtute, terminos habet motui circulari inservientes, polos non mathematicos, aequatorem non imaginatione conceptum, meridianos etiam et parallelos; quos omnes permanentes, certos, naturales in terra invenimus: quos tota philosophia magnetica plurimis experimentibus ostendit.» V. também pp. 225, 228.

(109) *Diálogo*, III, p. 431.

ela não é matemática, nem sequer matematizável⁽¹¹⁰⁾. A atracção gilbertiana é uma força *animada*⁽¹¹¹⁾. A atracção kepleriana sem dúvida que o não é; ou já não o é. Mas do seu passado antimista conserva a faculdade de poder dirigir-se, por si própria, para o seu objecto. Sabe, por assim dizer, onde tem que ir, onde está o corpo que é preciso atrair⁽¹¹²⁾. Faculdade misteriosa, que as pesquisas próprias de Galileu sobre o iman não conseguiram esclarecer, nem a matematizar, e que ficou inutilizável para a física.

E, assim, por três vezes Galileu se aproxima do principio de inércia até ao ponto de, por assim dizer, o tocar ao de leve; e, de todas as vezes, recua no último momento. Nada há de mais instrutivo, julgamos, do que a análise dessas três recusas.

Numa primeira vez, o principio do movimento circular é posto em perigo por ocasião da discussão sobre a força centrífuga. Ptolomeu, recorde-se, tinha baseado aqui um argumento contra o movimento da Terra, afirmando que a velocidade enorme desse movimento a faria voar em estilhaços. E Salviati, seguindo o método habitual de Galileu de reforçar os argumentos do adversário, tentará⁽¹¹³⁾ «mostrar ainda mais claramente o quanto é verdade que os corpos graves que giram rapidamente à volta de

(110) *Diálogo*, III, p. 432: SALV. Quello che avrei desiderato nel Gilberti, è che fusso stato un poco maggior matematico, ed in particolare ben fondato, nella geometria.» Acerca do carácter não matemático da física gilbertiana, v. o livro já citado de E. BURR, *The metaphysical foundations of modern physical science*, pp. 68 e seg.

(111) Cf. GILBERT, *De Magnete*, l. V, cap. XII, p. 209: «Vis magnetica animata est, aut animatam imitatur, quae humanam animam dum organico corpori alligatur, in multis superat. Admirabilis in plurimis experimentis corporis magnetis, et veluti animatus. Atque haec est una ex illis egregia virtus, quam veteres in caelo, in globis et stellis, in sole et luna animam existimabant. Suspiclabantur namque non sine divina et animata natura posse motus tam varios fieri, corpora ingentia certis temporibus torqueri, admirabiles potentias in alia corpora infundi.» Também Gilbert cré nas almas dos astros.

(112) A atracção newtoniana não é dirigida para um objecto. É uma função do espaço.

(113) Cf. *Diálogo*, II, p. 216.

um centro imóvel adquirirem um *impetus* de se mover afastando-se desse centro. Atemos a um dos extremos de uma corda um recipiente cheio de água, e seguros o outro extremo com força na mão; que o braço e a corda sejam o semidiâmetro, e a articulação do ombro o centro: façamos girar rapidamente o vaso, de tal maneira que ele descreva uma circunferência de um círculo. Ora, quer ele seja paralelo ao horizonte ou vertical, ou inclinado de uma maneira qualquer, seguir-se-á em qualquer caso que a água não se entornará do vaso, e também que quem o fizer girar sentirá todo o tempo a corda a puxá-lo e a fazer um esforço para se afastar do ombro; e se no fundo do recipiente se fizesse um buraco, ver-se-ia a água saltar tanto para o céu como lateralmente ou em direcção à terra. E se no lugar da água lá se pusesse um montão de pedrinhas, sentir-se-ia a mesma força puxar a corda; e, enfim, vêem-se as crianças atirar pedras a uma grande distância prendendo as ditas pedras ao extremo de um pau que elas fazem girar rapidamente: argumentos que, todos, confirmam a verdade da conclusão segundo a qual a rotação confere ao móvel um *impetus* em direcção à circunferência, quando o movimento é rápido; ora, portanto, se a Terra girasse em torno de si mesma, o movimento da sua superfície, sobretudo pelo equador, sendo incomparavelmente mais rápido do que os movimentos pré-citados, haveria de atirar todas as coisas para o céu.»

Tomado à letra, o argumento exposto por Salviati não tem valor (o que, aliás, antes de Galileu ninguém tinha notado), pois confunde a velocidade linear do ponto tomado à superfície da Terra com a velocidade angular da rotação desta. E, assim, dirá Salviati⁽¹³⁴⁾: «Até aqui admitimos, e sobre isso estivemos de acordo com Prodiomou, como efeito indubitável que, decorrendo a projecção da pedra da rapidez da [rotação] da roda movida à volta do seu centro, a causa da dita projecção cresce à medida que a rapidez dessa rotação aumenta; donde se inferiu que, sendo a rapidez da rotação da Terra infinitamente maior do que a de uma qualquer máquina que pudessemos artificialmente fazer gi-

(134) *Dialogo*, II, p. 237.

rar, a projecção (extrusão) das pedras e dos animais, etc., deveria, em consequência, ser extremamente violenta. Ora, faço notar que este raciocínio é um grande erro, pois, indifferente e absolutamente, comparámos as velocidades entre si. É verdade que se eu comparar as velocidades da mesma roda, ou de duas rodas iguais entre si, a que girar mais rapidamente projectará a pedra com um maior *impetus*, e, crescendo a velocidade, a causa da projecção crescerá na mesma proporção; mas se a velocidade se tornasse maior não pelo crescimento da velocidade da mesma roda, isto é, em consequência de um maior número de revoluções feitas em tempos iguais, mas sim em consequência do crescimento do diâmetro da dita roda, isto é, que esta se tornasse maior, ao passo que o tempo de uma revolução continuaria o mesmo; se, portanto, a velocidade na roda grande fosse maior só por a circunferência desta ser maior: não se deveria acreditar que a causa da projecção na roda grande cresceria segundo a proporção da velocidade da sua circunferência à velocidade da circunferência da roda pequena, pois isso seria absolutamente falso, tal como se poderá mostrar com uma experiência muito fácil, a saber que uma pedra que pode ser atirada por uma vara de um côvado de comprimento não o poderá ser por uma vara com seis côvados de comprimento, ainda que o movimento da extremidade da vara comprida⁽¹³⁵⁾, onde a pedra está fixada, fosse duas vezes mais rápido do que o da extremidade da vara mais curta; o que seria o caso se as velocidades fossem tais que numa revolução da mais comprida a mais curta fizesse três.» Com efeito, é só a velocidade de rotação (a velocidade angular) que importa, e, tal como observa Sagredo⁽¹³⁶⁾, «a rotação da Terra será tão sufficiente para projectar as pedras como o será a de uma qualquer pequena roda que gire tão lentamente que, em vinte e quatro horas, faça apenas uma só revolução».

(135) Note-se que o *impetus* é em todas as circumstancias representado como função da velocidade.

(136) *Dialogo*, II, p. 244.

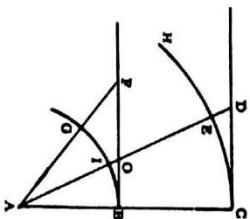
O argumento ptolemaico, bem se vê, é completamente falacioso. O que o não impede nada de ser de uma importância capital. E de nos revelar algo de absolutamente incompatível com as asserções reiteradas de Galileu. Com efeito, se — tal como Galileu afirmou tantas e tantas vezes — o movimento, enquanto tal, é como que nulo e não existente para as coisas que dele participam todas em conjunto, se, em particular, na Terra dotada do movimento de rotação tudo se passa exactamente da mesma maneira que na Terra imóvel, dito de outra maneira, se o princípio da relatividade do movimento fosse universal e absolutamente válido, e se, em particular, o fosse para o movimento circular «à volta de um centro», o movimento de rotação da Terra, tal como qualquer outro, não poderia produzir força centrífuga. A existência desta é evidente (*va de soi*) na física de Aristóteles ou de Ptolomeu: para estes, o movimento circular (à volta de um centro) só é natural para os corpos celestes, e para as esferas, privados de gravidade; de maneira nenhuma o é para os corpos graves. Ora, Galileu fez-nos ver que não é nada assim e que é justamente para os graves que o movimento circular possui um carácter privilegiado. Sem dúvida, dada a rotação muito lenta da Terra, que a força centrífuga que o seu movimento produz é muito fraca; contudo, por muito fraca que seja, poderia, não obstante, produzir efeitos perceptíveis. E depois, se a Terra girasse mais rapidamente?

E, assim, Galileu vai esforçar-se por nos demonstrar que, seja qual for a velocidade de rotação da Terra, os efeitos previstos por Ptolomeu nunca poderiam ocorrer. Mas a sua demonstração, de tal maneira engenhosa que fortemente se lamenta a sua falsidade, vai revelar-nos um facto de uma importância capital: a saber, que qualquer impulsão para o movimento se dá *em linha recta* ⁽¹¹⁷⁾, e que o movimento circular dos graves não é mais do que uma resultante de dois movimentos rectilíneos ⁽¹¹⁸⁾... Estamos no limiar do princípio de inércia. No limiar que, porém, Galileu se recusará a transpor!

⁽¹¹⁷⁾ *Dialogo*, II, p. 201.
⁽¹¹⁸⁾ *Dialogo*, II, p. 222.

O raciocínio de Ptolomeu é falso. No entanto, é plausível. A asserção de Sagredo segundo a qual o movimento extremamente rápido da superfície terrestre é tão pouco capaz de projectar uma pedra quanto o movimento extremamente lento da circunferência de uma roda de um metro de diâmetro está correcta. Mas parece assaz paradoxal ⁽¹¹⁹⁾: as velocidades que animam as pedras não são, nos dois casos, extremamente diferentes? Sem dúvida. Mas Galileu explicar-nos-á que isso não tem importância, e para o explicar melhor dar-nos-á até um desenho ⁽¹²⁰⁾:

«Sejam duas rodas desiguais à volta de um mesmo centro A; BIG a circunferência da mais pequena, e CEH a da maior; seja, enfim, ABC o semidiâmetro perpendicular ao horizonte; pelos pontos B e C façamos passar as linhas rectas tangentes BF e CD, e dos arcos BG e CE tomemos duas partes



iguais, BG e CE; admitamos que as duas rodas giram com a mesma velocidade à volta dos seus centros, de tal maneira que dois móveis, por exemplo duas pedras, colocadas nos pontos B e C, sejam levadas pelas circunferências BG e CE com velocidades iguais, isto é, que no mesmo tempo em que a pedra B descreve o arco BG a pedra C passe o arco CE: digo que a rotação da roda mais pequena terá muito mais potência para projectar a pedra B do que terá a rotação da roda maior para projectar a pedra C. Dado que (tal como nós já declaramos) a projecção tem de se fazer pela tangente, quando as pedras B e C tiverem de se separar da sua roda e de começar o movimento da projecção a partir dos pontos B e C, elas serão, pelo *impetus* produzido pela rotação, projectadas pelas tangentes BF e CD; pelas tangentes BF e CD as duas pedras têm, portanto, os mesmos *impetus* de projecção; daí que elas fossem projectadas [segundo essas tangentes] se não fossem desviadas por alguma outra força. Não é assim, senhor Sagredo?»

⁽¹¹⁹⁾ Também parece assim a Sagredo, cf. *Dialogo*, II, p. 238.
⁽¹²⁰⁾ Cf. *Dialogo*, II, p. 242.

— *Sagrado*: «Parece-me que as coisas se passam assim.» — *Salviati*: «Mas qual nos parece ser a força que desvia a pedra do seu movimento pela tangente, para onde verdadeiramente a atira o *impetus* da rotação?» — *Sagrado*: «É a sua própria gravidade ou algo que a retém assente e presa à roda.» — *Salviati*: «Mas não é, para desviar um móvel do movimento para que ele tem o *impetus*, precisa uma força maior ou menor, consoante o desvio tenha de ser maior ou menor?, isto é, consoante por ocasião do desvio ele tenha de passar no mesmo tempo um espaço maior ou menor?» — *Sagrado*: «Sim, porque para fazer um móvel maior for a velocidade com a qual tenhamos que o mover.» — *Salviati*: «Ora, considerais que, para desviar a pedra da roda mais pequena do movimento de projecção, movimento que ela teria feito pela tangente BF, e para a reter presa à roda, é preciso que a sua gravidade própria a retire dum comprimento igual ao da secante FG, ou ao da perpendicular traçada do ponto G para a linha BF; enquanto na roda maior esse recuo não tem que ser maior do que a secante DE, ou que a perpendicular traçada do ponto E para a tangente DC, sensivelmente mais pequena do que FG, e tanto mais pequena quanto maior se fizesse a roda; e porque estes recuos têm de se dar em tempos iguais, isto é, enquanto [os móveis] percorrem os dois arcos iguais BG e CE, o da pedra B, isto é, o recuo FG, deverá ser mais rápido do que o outro, DE, e, por conseguinte, para reter a pedra B conjunta à sua pequena roda será necessária uma força muito maior do que será preciso [para reter] a pedra C perto da grande; o que é a mesma coisa que dizer que certa pequena força que impeça a projecção da roda grande não a interdirá à pequena. E, portanto, claro que a causa da projecção se reduz mais à medida que a roda se torna maior.»

O raciocínio de Salviati é perfeito, mas, para o tornar compreensível, ele teve de desenvolver toda uma teoria da força centrífuga, e de mostrar logo desde início que esta não é radialmente

dirigida, para a circunferência, mas, pelo contrário, tangencial e perpendicularmente ao raio da roda⁽²¹⁾.

Donde, contudo, parece resultar — e, aliás, efectivamente resulta — que (quando as duas rodas têm a mesma velocidade angular) o móvel colocado sobre uma roda grande, e, portanto, movendo-se linearmente mais depressa do que o mesmo móvel colocado numa roda mais pequena, terá um *impetus* muito maior. E assim — se ambas tiverem a mesma velocidade angular — ele será atirado muito mais longe por uma funda ou uma vara longa do que por uma curta. Sem dúvida, responderá Galileu, se chegar a deixar a roda (ou a funda). Mas por si mesmo não o conseguirá, pois a força mais pequena será suficiente para lá o reter.

Com efeito, o *impetus* do móvel em movimento circular dirige-se pela tangente do círculo do seu movimento; e procura afastá-lo do círculo em questão. Mas como se dá esse afastamento? Simplicio, a quem a pergunta é feita, não a compreende muito bem. Não sabe responder-lhe, não tendo nunca nela pensado. Mas Salviati anima-o. O que lhe falta são apenas os termos. Quanto ao fundo da questão, diz-lhe este⁽²²⁾, «da mesma maneira que soubestes o antecedente, ireis saber, não, sabeis o resto; e pensando nisso igualmente vos recordareis por vós mesmos; mas para abreviar o tempo, ajudar-vos-ei a recordá-lo. Até aqui reconhecesteis por vós mesmos que o movimento circular do projectante imprime ao projectil um *impetus* para se mover (quando acontece eles separarem-se) pela recta tangente ao círculo no ponto de separação, e que, continuando a mover-se por esta linha, ele se afasta continuamente do projector. E dissetes que o projectil se continuaria a mover por aquela linha recta se, pelo seu próprio peso, lhe não fosse ajuntada a inclinação [a mover-se] para baixo, de que deriva o encurvamento da linha do movimento. Parece-me também que soubestes por vós mesmos que esse encurvamento

⁽²¹⁾ Cf. *Dialogo*, II, pp. 217 e seg.

⁽²²⁾ *Dialogo*, II, p. 219. Note-se a técnica socrática de Salviati.

tende sempre para o centro da Terra, porque é para aí que tendem todos os graves. Ora, avancemos um pouco e perguntemo-nos se o móvel após a separação, ao continuar o seu movimento rectilíneo, se vai afastando sempre por igual do centro, ou, se quiser das da circunferência do círculo em que participava o movimento precedendo [a separação]; o que quer dizer, se um móvel que parte do ponto da tangente e que se move pela dita tangente se afasta igualmente do ponto de contacto e da circunferência do círculo.» — Simplicio compreendeu. E assim, responde ⁽²²¹⁾:

Simplicio: «Oh, não, porque a tangente, na vizinhança do ponto de contacto, só se afasta muito pouco da circunferência com a qual ela forma um ângulo extremamente agudo, mas ao afastar-se cada vez mais o seu afastamento [da circunferência] cresce numa proporção cada vez maior...»

Os destinos posteriores da pedra projectada não interessam nada a Galileu. O que lhe interessa é o que se passa no próprio momento da separação, no momento em que a pedra, deixando de se mover circularmente, começa o seu movimento rectilíneo. Dai conduzir para aí o debate ⁽²²²⁾:

Salvi: «Assim, portanto, o afastamento do projectil em relação à circunferência do movimento circular precedente é extremamente pequeno no início?» — *Simpl.*: «Quase insensível.» — *Salvi*: «Então dizei-me, pois: o projectil que do movimento do projector recebe o *impetus* de se mover pela recta tangente e que o faria também se o seu próprio peso não o puxasse para baixo, quando é que, depois da separação, começa a declinar para baixo?» — *Simplicio*: «Creio que começa imediatamente [a fazê-lo] porque, não tendo nada que o sustente, não pode deixar de acontecer que a sua própria gravidade actue.» — *Salviati*: «Assim, portanto, se essa pedra que é atirada pela dita roda, movida em círculo com uma grande velocidade, tivesse a mesma propensão

natural a mover-se para o centro da roda do que tem a mover-se para o centro da Terra, seria coisa fácil o facto de ela regressar à roda ou, antes, de desta não partir. Pois no início da separação o afastamento é de tal maneira pequeno, por causa da pequenez ínfima do ângulo de contacto, que qualquer *minimum* ínfimo de inclinação que a puxasse para o centro da roda seria suficiente para a reter na circunferência.»

O raciocínio galilaeo, ainda que falso, é plausível; com efeito, o ângulo formado pela circunferência da roda e pela direcção do movimento (*impetus*) imprimido à pedra pela rotação é infinitamente pequeno; a sua componente radial é, portanto, infinitamente pequena; por conseguinte, conclui Galileu, para a contrabalançar basta uma força infinitamente pequena.

Para que a projecção se dê é preciso, e chega, que a velocidade produzida pela rotação ultrapasse a da queda. Não se trata, bem entendido, da velocidade tangencial, mas sim da velocidade de afastamento, da velocidade radial. Mas porque não haveria esta, ainda que sendo infinitesimal, de ser maior do que a da queda?

Ora, Galileu julga que é impossível. E que seria ainda impossível mesmo se, como o aristotelismo pretende, a velocidade da queda diminuisse com o peso do grave. Mesmo então, mesmo se o alívio do móvel diminuisse até ao infinito a velocidade da sua queda, e se a projecção fosse favorecida «por duas causas, a saber, a leveza do móvel e a proximidade do termo do repouso, ambos aumentáveis até ao infinito», esta dupla infimidade não seria suficiente. *A fortiori*, portanto, uma só seria insuficiente ⁽²²³⁾. A demonstração galilaeica é extremamente curiosa ⁽²²⁴⁾: «Tracemos, diz-nos ele, uma linha perpendicular em direcção ao

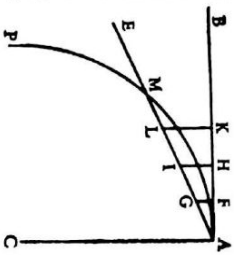
⁽²²¹⁾ *Ibid.*

⁽²²²⁾ *Dialogo*, II, pp. 220 e seq.

⁽²²³⁾ *Dialogo*, II, p. 228.

⁽²²⁴⁾ *Dialogo*, II, p. 225.

centro, AC, e tracemos pelo ângulo recto a horizontal AB sobre a qual se daria o movimento de projecção, isto é, sobre a qual o projectil se continuaria a mover com um movimento uniforme se a gravidade o não inclinasse para baixo. Tiremos também de A uma linha recta AE que faça com AB um ângulo qualquer, e marquemos em AB alguns espaços iguais: AF, FH, HK, e tiremos as perpendiculares FG, HI, KL. Ora, já que, tal como se disse noutra ocasião, o grave caindo a partir do repouso adquire com o tempo um grau cada vez maior de



velocidade conforme o tempo transcorre, podemos imaginar que os espaços AF, FH, HK representam tempos iguais, e as perpendiculares FG, HI e KL graus de velocidade adquiridos nos ditos tempos, de tal maneira que o grau de velocidade adquirido durante todo o tempo AK seja como a linha KL comparada com o grau HI adquirido no tempo AH e com o grau FG adquirido no tempo AF, os quais graus KL, HI e FG têm, tal como é manifesto, a mesma proporção que os tempos KA, HA e FA.

«E se outras perpendiculares se tirassem de pontos arbitrariamente escolhidos na linha FA, procedendo em direcção ao ponto A, representando o primeiro instante do tempo e o estado inicial de repouso, encontrar-se-iam sempre mais graus cada vez mais pequenos, até ao infinito. Ora, esse recuo para A representa a primeira propensão para o movimento para baixo, diminuída ao infinito pelo avizinhar do móvel do primeiro estado de repouso, avizinhar que pode crescer até ao infinito (...) em consequência do que a velocidade do movimento para baixo poderá decaír a um tal ponto que já não chega para reconduzir o móvel à circumference da roda, e para fazer com que a projecção seja impedita e suprimida. Mas em contrapartida, para que a projecção não se dê é preciso que os espaços pelos quais o projectil tem de descer para se reunir à roda se torrem de tal maneira curtos e estreitos que, por lenta e até diminuída ao infinito que seja a descida do móvel, chegue, não obstante, para o lá reconduzir;

seria então preciso que se encontrasse uma diminuição desses espaços não só progredindo até ao infinito, mas de uma infinidade tal que ultrapassasse a [dupla] infinidade que se dá na diminuição da velocidade da queda para baixo. Mas como pode uma grandeza diminuir mais do que uma outra que diminui infinitamente? Ora veja, senhor Simplicio, se se pode filosofar bem acerca da natureza sem geometria! Os graus de velocidade diminuídos ao infinito (...) são sempre determinados e correspondem proporcionalmente às paralelas compreendidas entre as duas linhas rectas que formam um ângulo (BAE) (...) rectilíneo; mas a diminuição dos espaços pelos quais o móvel tem que voltar à circumference da roda é proporcional a um outro grupo de diminuição, compreendido entre linhas que contêm um ângulo infinitamente mais agudo e mais apertado (*tenuis*) do que qualquer ângulo rectilíneo, seja ele qual for. Tomai na perpendicular AC um ponto qualquer C, descrevei com o raio AC um arco AMP, e este há-de cortar as paralelas determinando os graus de velocidade, por perpendiculares que elas sejam, compreendidas no interior do ângulo rectilíneo mais agudo; e, destas paralelas, as partes que não-de ficar entre o arco e a tangente AB são os espaços que se têm de atravessar para se regressar à roda, espaços cada vez mais pequenos à medida que se aproximam do ponto de contacto, mais pequenos, digo eu, do que as paralelas de que eles são partes. As paralelas compreendidas entre as linhas rectas, ao aproximar-se do ângulo, diminuem sempre na mesma proporção; assim, por exemplo, se diminuem sempre na mesma proporção em F, a paralela HI será a linha AH for dividida pela metade em F, a paralela HI será o dobro de FG, e se FA estivesse dividida ao meio, a paralela do ponto de divisão seria a metade de FG, e se se continuasse esta subdivisão até ao infinito as paralelas seguintes seriam sempre metade das precedentes mais próximas; mas não é o que se passa a respeito das linhas compreendidas entre a tangente e a circumference do círculo; assim, portanto, fazei a dita subdivisão de FA, e suponhai, por exemplo, que a paralela que vem do ponto H seja o dobro da que vem de F, esta será mais do que o dobro da seguinte e assim sucessivamente, quando avançarmos para o ponto de contacto A verificaremos que as linhas precedentes

contém as seguintes mais próximas três, quatro, dez, mil, cem mil, cem milhares de vezes, e mais, até ao infinito. Assim, o comprimento destas linhas decresce muito mais rapidamente do que seria necessário para fazer com que o projectil (...) regressasse, e, portanto, se mantivesse na circunferência»...

O raciocínio galilaico — que nos ocupámos a citar por inteiro por nada haver, com efeito, de mais instructivo que o erro — é, dissemolo já, extremamente sedutor e subtil. Infelizmente é falso; e, o que é mais grave, é manifestamente falso. Os raciocínios infinitesimais são, não há dúvida, difíceis; e a tentação da geometrização em excesso, muito forte. Não é, porém, invencível, e Galileu, melhor do que qualquer outro, dá-se conta dos seus perigos.

O erro que Galileu comete não é uma simples inadvertência. Ele sabe muitíssimo bem que o movimento rápido da roda (ou da funda) pode quebrar o laço que a prende à pedra⁽²²⁷⁾. Sabe bem, portanto, que uma dada força pode ser vencida e ultrapassada pela força centrífuga, desde que o movimento de rotação seja suficientemente rápido. Se ele não admite esta possibilidade no caso da rotação terrestre, e não nota sequer a contradição que assim comete (aos nossos olhos ela é flagrante), é porque, para ele, a força natural do peso que atrai — ou que empurra — os graves para o centro da Terra não pode ser situada no mesmo plano que a acção exterior — adventícia, violenta — de uma ligação que prende uma pedra a uma roda. A gravidade age constante e naturalmente. E para que a força centrífuga a pudesse vencer teria sido preciso, diz-nos ele, que o grave, que o corpo pudesse *vencer-se e ultrapassar-se a elle mesmo*⁽²²⁸⁾. O que quer dizer que, para Galileu, a gravidade fundamenta e explica a faculdade que o corpo possui de receber e de armazenar o movimento: é o mesmo corpo, e em virtude da mesma gravidade, que recebe a

impulsão linear da rotação terrestre e que tende para o centro da Terra. Dai ele explicar a Sagredo que a diminuição da gravidade é irrelevante; com efeito, com esta, e na mesma medida, diminui também a capacidade de receber o *impetus* do movimento⁽²²⁹⁾.

O *impetus* é, não há dúvida, rectilíneo. Mas só o é no instante⁽²³⁰⁾. Ora, nenhum movimento se dá no instante. E nenhum movimento real se pode dar em linha recta: a gravidade opõe-se-lhe. O movimento rectilíneo só seria possível para um corpo privado de gravidade. Mas um tal corpo, porém, não seria um corpo real; e não poderia receber *impetus*.

Coisa curiosa! E o progresso conseguido por Galileu na sua análise do movimento em geral, e do do arremesso em particular, que o faz avaliar mal o papel do movimento em linha recta, porque lhe faz reconhecer a não existência real deste.

Com efeito, o movimento violento — ou, pelo menos, o *impetus* do movimento violento — é sempre em linha recta. A bala do arcabuz parte em linha recta, tal como a flecha, tal como a pedra que se atrai, etc. Mas nunca se move em linha recta. Contra os seus antecessores, mecânicos e artilheiros, que decompunham a trajetória da bala numa parte rectilínea e numa parte encurvada, Galileu suprime a parte rectilínea. O princípio da relação do movimento leva-o a compreender que, porque os movimentos horizontal e vertical não se perturbam, e porque a gravidade está sempre em acção, a trajetória se irá encurvar desde o início⁽²³¹⁾. A bala só poderia voar em linha recta se não tivesse peso. Mas então, com toda a evidência, não a poderíamos atirar.

A inexistência, ou, mais exactamente, a impossibilidade do movimento rectilíneo «inercial» na Terra não explica, contudo, pelo menos de maneira suficiente, o erro galilaico que estamos a estudar. Não há dúvida de que o movimento pela tangente é impossível. Mas Galileu é um géometa suficientemente bom para saber

⁽²²⁷⁾ Cf. *Dialogo*, II, pp. 216, 221.
⁽²²⁸⁾ Cf. *Dialogo*, II, pp. 220, 222.

⁽²²⁹⁾ Cf. *Dialogo*, II, p. 229. Cf. Kepler, citado *supra*.
⁽²³⁰⁾ Cf. *Dialogo*, II, p. 221.
⁽²³¹⁾ Cf. *Dialogo*, II, pp. 225, 229.

que, entre a tangente e a circunferência (a superfície da Terra), se pode situar uma infinidade de curvas; e até de circunferências se pode situar a pedra projectada pela rotação poderia seguir. Por que é que ele se recusa a admitir, e até a examinar, esta possibilidade? No fundo, já o dissemos: admiti-lo seria abandonar a relatividade geral do movimento em proveito de uma relatividade parcial, limitada a um caso irrealizável e, rigorosamente falando, impossível: o do movimento rectilíneo; seria renunciar a ver no movimento de uma grave à volta do centro, esse movimento que não eleva nem faz baixar de peso, um movimento fisicamente privilegiado; seria admitir que, numa Terra em movimento, as coisas não se passam como se passam numa Terra imóvel⁽⁶⁸⁾; e que, nomeadamente, os graves que caíam do alto de uma torre, rigorosamente falando, nunca chegarão aos pés dela, tal como não chegarão nunca ao centro da Terra.

Ora, Galileu está de tal maneira persuadido disto que essa convicção o leva a cometer mais um erro, e a estabelecer para o movimento complexo resultante do arremesso (ou, o que é a mesma coisa, para o movimento complexo real da queda numa Terra em rotação) uma lei sensivelmente inexacta, proclamando que a trajectória do movimento em questão seria uma circunferência e não, tal como nós o sabemos, e tal como ele próprio o irá, mais tarde, estabelecer, uma parábola⁽⁶⁹⁾. Erro que se explica porque no seu raciocínio Galileu *a*) admite como evidente que o grave que tende naturalmente para o centro da Terra acaba por lá chegar, e *b*) que o seu movimento, tal como ele se daria se a sua

⁽⁶⁸⁾ Há, no entanto, um fenómeno que, segundo Galileu, não se passa numa Terra em movimento como se passaria numa Terra imóvel. É o do fluxo e do refluxo, que a quarta jornada do *Diálogo* apresenta como resultado do duplo movimento da Terra.

⁽⁶⁹⁾ *Diálogo*, II, p. 191, à margem: «*La linea descritta dal cadente naturale, supposto il moto della Terra circa il proprio centro, sarebbe probabilmente circonferenza di cerchio.*»; *ibid.*, p. 192, à margem: «*Moblie cadente dalla cima della torre si muove per la circonferenza d'un cerchio; non si muove più né meno che se fusse restato la su.* Si muove dal moto equabile, e non accelerato.» Cf. *Discorsi*, III, p. 190; IV, pp. 268 e seg.

gravidade o não levasse para o centro da Terra, isto é, se algo (a superfície da Terra, por exemplo) o impedisse de para lá ir, far-se-ia, naturalmente, em círculo⁽⁶⁹⁾. Mas eis esse texto tão curioso e, digamo-lo francamente, habitualmente tão mal compreendido:

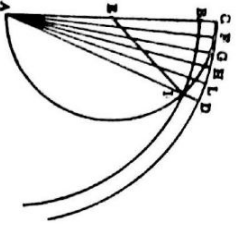
Salvati: «Se o movimento rectilíneo para o centro da Terra fosse uniforme, igualmente o sendo o movimento para oriente, veríamos compor-se destes dois movimentos um movimento por uma linha espiral, do género das que Arquimedes definiu no seu livro... Mas porque o movimento do grave que cai é continuamente acelerado, segue-se necessariamente que a linha, composta dos dois movimentos, se afasta numa proporção cada vez maior da circunferência do círculo que o centro de gravidade da pedra teria descrito se permanecesse na torre; e é preciso que esse afastamento, no início, seja pequeno, e até mínimo e minimíssimo, dado que o grave, que parte do repouso, isto é, da privação de movimento, e adquire um movimento rectilíneo para baixo, é forçado a passar por todos os graus de lentidão que existem entre o repouso e uma velocidade qualquer, graus que são infinitos, tal como já foi explicado e demonstrado.

«Logo, dado que tal é o progresso da aceleração, e dado além disso que o movimento do grave descendente tem por termo o centro da Terra⁽⁶⁹⁾, é preciso que a linha do seu movimento com-

⁽⁶⁹⁾ *Diálogo*, II, pp. 227 e seg. Como se sabe, foi Cavalieri o primeiro a demonstrar que a trajectória do projectil era uma parábola (*V. Specchio Ustorio*, pp. 161 e seg.). Ora parece certo (cf. E. WOHLEWITZ, «Die Entdeckung der Zentschrift für Volkertpsychologie», v. XV, pp. 107, 109, n. 2, e «Entdeckung der Parabelform der Wurftraile», *Abhandlungen zur Geschichte der Mathematik*, Leipzig, 1899) que, na época da publicação do *Specchio* (1632), Galileu estaria já e mesmo desde há bastante tempo (desde 1610) na posse dessa lei. E, assim, já e mesmo desde há bastante tempo o ter privado da glória de publicar essa censura amargamente Cavalieri por o ter não o fez no *Diálogo*? Por que bela descoberta. Mas, sendo assim, por que não o fez no *Diálogo*? Por que publicou neste uma lei inexacta? Nem Wohlewill nem, que seja do nosso conhecimento, ninguém responde. A resposta parece-nos, no entanto, bem simples: no *Diálogo*, Galileu estuda os fenómenos que se passam sobre a Terra. Daí apenas apresentar uma lei provável.

⁽⁶⁹⁾ Sublinhado por nós.

posto seja tal que, ainda que se afaste cada vez mais rapidamente do topo da torre, ou, melhor dizendo, da circunferência descrita pelo topo da torre em consequência da revolução da Terra, ela se afaste cada vez menos, infinitamente, à medida que se ascende ao primeiro termo do movimento. E, além disso, é necessário que a linha do movimento composto chegue a terminar-se no centro da Terra⁽⁶⁸⁾. Ora, feitas estas duas pressuposições, descrevamos à volta do centro A com o semidiâmetro AB o círculo BI representando o globo terrestre; e, prolongando o semidiâmetro AB até C, descreveremos a altura da torre BC, a qual, levada pela Terra pela circunferência BI, descreve com o seu topo o arco CD; dividamos agora a linha CA em metades em E, e, tomando E como centro, descrevamos com o raio EC o semicírculo CIA. Digo que se pode crer com suficiente probabilidade que uma pedra que caia do alto da torre C se há-de mover com um movimento composto do seu próprio movimento rectilíneo e do movimento circular comum, seguindo o semicírculo CIA. Com efeito,



designemos na circunferência CD algumas partes ignais CF, FG, GH, HI, e, dos pontos F, G, H, I, L, tracemos em direcção ao centro A linhas rectas: as partes destas linhas incluídas entre as duas circunferências CD e BI representarão sempre a mesma torre CB transportada pelo globo terrestre para DI; e nestas linhas, os pontos em que elas são cortadas pelo arco do semicírculo CI são os lugares onde, de instante a instante, se encontra a pedra que cai: esses pontos afastam-se cada vez mais rapidamente do topo da torre, o que faz com que o movimento da pedra ao longo da torre pareça cada vez mais acelerado. Vê-se, também, ser infinitamente agudo, que o afastamento do móvel da circunferência CPD é, no início, extremamente pequeno; noutros termos, que o movimento para baixo é extremamente lento e afrouxa cada

vez mais, até ao infinito, à medida que se está mais próximo do termo C, isto é, do estado de repouso; e, enfim, compreende-se como, finalmente, um tal movimento irá terminar no centro da Terra.»

Vê-se claramente: para os movimentos reais, os movimentos dos corpos graves ao cimo da Terra, o plano horizontal, tal como dissemos mais atrás, é e continua a ser uma circunferência.

Ser-nos-á talvez objectado que, nos *Discursos*, Galileu chega a desabarçar-se desta obsessão do esférico e do circular. Sem dúvida. Os *Discursos* representam não só uma fase posterior do pensamento galileico, mas também, e até sobretudo, uma etapa de «abstracção» bem mais elevada⁽⁶⁹⁾. E assim, nos *Discursos* a linha recta não é um círculo, nem o plano horizontal uma esfera. É que o mundo arquimediano que os *Discursos* estudam não é o mundo da realidade terrestre: os graves desse mundo não caem para o centro da Terra. E, no entanto, caem. Mas a direcção do peso não é para um «centro»⁽⁷⁰⁾; as «linhas de força» da gravidade são paralelas: e é por isso que o plano horizontal desse mundo é um plano euclidiano. Mas elas existem; e é por isso que o movimento inercial em linha recta é aí impossível.

Com efeito, examinemos os dois textos dos *Discursos* em que Galileu disso está mais próximo: veremos aí Galileu afirmar resolutamente o carácter natural do movimento para baixo; e, uma vez mais, vê-lo-emos incapaz de abstrair do peso.

Citemos, de imediato, esse texto admirável da terceira jornada dos *Discursos* que nos apresenta, num resumo impressionante, os princípios fundamentais da física galileica, os princípios da relatividade e da conservação do movimento⁽⁷¹⁾: «(...) há que tomar atençaõ ao facto de o grau de velocidade que se encontra no móvel lhe ser pela sua natureza indelevelmente im-

⁽⁶⁸⁾ A publicação dos *Discursos* é seis anos posterior à do *Diálogo*. Mas a sua elaboração — pelos menos parcial — é sem dúvida muito anterior ou, quando muito, contemporânea da composição da obra cosmológica.

⁽⁶⁹⁾ Pelo menos, nem sempre; cf., no entanto, o texto citado *supra*.
⁽⁷⁰⁾ *Discorsi e dimostrazioni*, III, p. 243.

⁽⁶⁸⁾ Sublinhado por nós.

presso, enquanto causas externas de aceleração ou de atraso não o destruiriam. O que só acontece no movimento horizontal. Pois nos planos inclinados está-se em presença de uma causa de aceleração; e nos planos que se elevam, de uma causa de atraso (*retard*): donde se segue que o movimento no plano horizontal (*retard*): donde se segue que o movimento no plano horizontal é eterno. Pois se é uniforme não enfraquece, nem afrouxa, nem, muito menos ainda, se destrói. Além disso, há que considerar [o caso] em que um tal grau de velocidade, pela sua natureza indelével e eterna, seria adquirido pelo móvel na sua descida natural, e em que o móvel após a descida reflectiria em direcção a um outro plano ascendente: haveria então uma causa de atraso (*retardation*). Com efeito, naturalmente, num tal plano esse mesmo corpo desce. É por isso que se forma uma certa mistura das afecções contrárias, a saber, do grau dessa velocidade adquirida na descida antecedente, grau de velocidade que, em si, levaria o móvel ao infinito com uma velocidade uniforme, e da propensão natural para se mover para baixo acelerando-se segundo essa mesma proporção a partir da qual o movimento sempre se dá. É por isso que parece perfeitamente razoável que, ao investigar quais serão os acidentes [do movimento] no ponto em que o móvel, após a descida por um plano inclinado, reflecte por um plano ascendente, admitamos que esse grau máximo atingido na descida se conserva em si perpetuamente o mesmo; e que, porém, na ascensão se lhe sobrepeça uma inclinação natural para baixo, isto é, um movimento naturalmente acelerado partindo do repouso, [acelerado] segundo a proporção admitida sempre...»

Já se vê: no mundo arquimediano dos *Discursos*, o plano horizontal sobre o qual o movimento uniforme prossegue eternamente já não é uma superfície esférica; é um plano geométrico infinito; e nele o grau de velocidade adquirido pelo grave conserva-se eternamente, seja qual for a direcção do movimento deste, o que quer dizer que qualquer grave, ou, o que é a mesma coisa, qualquer corpo, uma vez posto em movimento num plano horizontal, se move eternamente com um movimento rectilíneo e uniforme... Estamos, dissemo-lo, no limiar do princípio de inércia; e não o vamos transpor. Pois Galileu acrescenta imediatamente que o

corpo em questão se há-de mover naturalmente para baixo, que se há-de acelerar naturalmente ao descer, e que há-de afrouxar o seu movimento ao subir... Além disso, o seu movimento rectilíneo só persiste, ou, se se preferir, só continua rectilíneo enquanto *ele se move nesse plano*. Ora, o que aconteceria se esse plano viesse a faltar, a deixar de suportar o movimento dele? — Um texto famoso da quarta jornada, texto no qual igualmente se vê uma expressão do princípio de inércia, vai dizê-lo⁽⁴⁰⁾: «Imagino um móvel lançado por um plano horizontal, estando eliminado todo e qualquer obstáculo. Sabe-se, pelo que noutra ocasião foi dito, que o seu movimento continuará indefinidamente uniforme nesse plano se este se estender até ao infinito. Mas se esse plano for limitado e se estiver instalado no ar, quando o móvel, *que nós supomos submetido à gravidade*⁽⁴¹⁾ ultrapassar a sua extremidade acrescentará ao seu primeiro movimento uniforme e indestrutível a propensão que *pelo facto da sua gravidade*⁽⁴²⁾ ele tem [para ir] para baixo; daí nascerá um movimento, composto do movimento horizontal e do movimento naturalmente acelerado da descida. Chamo a esse movimento *projecção*... e esse movimento, tal como, por uma demonstração de então em diante clássica, Galileu o prova, será uma semiparábola.

Estamos a ver: quando o plano falta e deixa de suportar o grave, este cai. O seu movimento só decorre em linha recta enquanto ele permanece sobre o plano horizontal; quando deixa de aí estar, esse movimento, em si, prolonga-se, mas o grave já não se move em linha recta.

Decerto que nos poderiam objectar que Galileu aqui raciocina *ex hypothesi*; que os corpos estão «submetidos à gravidade», o que, todavia, é uma suposição normal; e que, aliás, nós mesmos não raciocinamos de outra maneira⁽⁴³⁾. Sem dúvida. E é por isso que o raciocínio galileuico nos parece tão «moderno»;

⁽⁴⁰⁾ *Discorsi e dimostrazioni*, IV, p. 268.

⁽⁴¹⁾ Sublinhado por nós.

⁽⁴²⁾ Sublinhado por nós.

⁽⁴³⁾ Cf. E. MACH, *Die Mechanik*, etc., pp. 132 e seg., 265 e seg.

quecemo-nos de que nós explicamos o «peso» (na «*pesanteur*») — quanto mais não seja substituindo-o pela atracção newtoniana dos corpos entre si —, e que se nós podemos representar-nos os corpos como estando submetidos à gravidade, podemos também representar-nos-os como não o estando. É o que fazemos, ou, pelo menos, fazíamos quando, distinguindo a gravidade da massa, estabelecíamos (*positions*) os primeiros princípios da nossa física. Ora, é justamente o que Galileu não faz. E que não pode fazer, porque para ele — em termos modernos — gravidade e massa confundem-se. E é por isso que a gravidade não é, para ele, uma «força» que actua no corpo; é algo a que o corpo está «submetido», algo que pertence ao próprio corpo. Daí que ela não sofra qualquer variação, nem no tempo, nem no espaço. Um corpo pesa o que pesa, sempre e em qualquer sítio, e cai com a mesma velocidade, seja ele colocado onde for: muito perto do centro da Terra ou, ao contrário, nas estrelas⁽⁶¹⁾. É certo que Galileu pode perfeitamente — seguindo Arquimedes — abstrair-se ou abstrair a realidade e desprezar a direcção real que a gravidade toma na Terra [o que, aliás, Simplicio e Sagredo unanimemente reprovaram⁽⁶²⁾]: ele pode, para justificar esse procedimento (*cette démarche*), apresentar-nos o seu mundo arquimediano como uma primeira aproximação (no que tem razão, e até de uma maneira dupla: a lei arquimediana da queda é uma aproximação da lei real, mais complexa; e o mundo arquimediano é, partindo do mundo geométrico, uma primeira aproximação do mundo físico), não pode levar a «abstracção» mais para além, e isto porque a gravidade, tal como nós tantas e tantas vezes vimos, é uma propriedade constitutiva e inseparável do corpo físico.

A física de Galileu explica aquilo que é por aquilo que não é. Descartes e Newton vão mais longe: as físicas destes explicam

⁽⁶¹⁾ Assim, quando calcula quanto tempo uma pedra que caia da esfera da Lua levará para chegar à Terra (*Diálogo*, III, p. 305), admite que a sua aceleração não varia com a sua distância da Terra. Ora, é curioso notar que Kepler sabia já que tal é falso.

⁽⁶²⁾ Cf. *Discorsi*, IV, p. 298. Cf. mais à frente a resposta de Torricelli a esta objecção.

aquilo que é por aquilo que não pode ser: explicam o real pelo impossível. Galileu, vimo-lo, não o faz. Não façamos, porém, disso motivo de queixa. Com efeito, esse impossível, isto é, o movimento inercial em linha recta, é de certa maneira menos impossível para Newton ou para Descartes do que o é para Galileu. Ou, se se preferir, a impossibilidade daquele movimento não é a mesma. Não tem a mesma estrutura.

Para Newton, o movimento rectilíneo de um corpo lançado no espaço é impossível porque a acção dos outros corpos o modifica, o desvia e o impede. Um corpo só se poderia mover em linha recta se estivesse sozinho no espaço. Condição sem dúvida impossível. Mas só é impossível de facto. Pois Deus, na verdade, poderia muito bem realizar essa condição.

A impossibilidade do movimento inercial é, em Descartes, muito mais profunda. Não há dúvida de que se trata, para ele (tal como para Newton), de uma impossibilidade de certa maneira exterior: um corpo não se pode mover em linha recta porque os outros — os que o rodeiam — o impedem de o fazer. Mas um corpo isolado é, para Descartes, inconcebível. O próprio Deus não poderia afastar os obstáculos que se erguem, necessariamente, no caminho daquele. Enfim, em Galileu a impossibilidade já não é exterior. Se nenhum corpo se pode mover em linha recta, não é porque encontre necessariamente obstáculos ou porque sofra atracções que de tanto o impeçam. É por si próprio que ele se recusa ao movimento rectilíneo. O seu peso arrasta-o para baixo. E se, por impossível, se suprimisse esse peso, o seu movimento não seria recuperado; desapareceria com o ser físico do corpo. Assim, acabámos de ver, *Galileu não formulou o princípio de inércia*. No caminho que do cosmos bem ordenado da ciência medieval e antiga leva ao universo infinito da ciência clássica, ele não foi até ao fim. A Descartes é que foi dado fazê-lo.