

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

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

Gérard Jorland

Podem-nos objectar, sem dúvida, que não há que procurar uma explicação racional do erro. O erro é um efeito da fraqueza do nosso espírito limitado e estreito, submetido, no seu funcionamento, a condições psicológicas e até biológicas. Toda a gente é susceptível de errar. Toda a gente se engana. Ninguém constitui excepção. O erro explica-se suficientemente por uma falta de atenção, uma distração; por uma «inadvertência»⁽¹⁷⁰⁾. Receamos não poder aceitar a objecção. Pelo menos, não inteiramente. Qualquer erro de raciocínio implica, sem dúvida, inadvertência. E porque Galileu e Descartes se enganaram, são culpados de tal falta. Mas que essa dupla inadvertência (facto já em si extremamente curioso) os tenha conduzido a um erro exactamente similar, eis o que não nos parece poder ser efeito de um puro acaso. Em si, é certo, não é impossível. É, contudo, por de mais inverossímil. A concordância no erro há-de ter alguma razão.

O problema que acabámos de pôr mantém-se, portanto: ao deduzir uma lei extremamente simples, Descartes e Galileu enganaram-se.

Não seria isso, por acaso, um indício de que tal simplicidade é apenas aparente? Ou, se se preferir, um indício de que a lei da queda dos corpos só é simples no interior de um certo sistema de axiomas, a partir de um certo conjunto de noções? Dito de outra maneira, de que ela pressupõe e implica um certo número de concepções determinadas — concepções do espaço, da acção, do movimento — que, estas, de modo nenhum são «simples»? Ou ainda, se se quiser, que são simples *de mais* — como quaisquer noções primeiras — e, por isso mesmo, bem difíceis de isolar⁽¹⁷¹⁾?

1. Galileu

O fenómeno da queda foi desde sempre um assunto de meditação e de espanto para a física. Não é, portanto, surpreendente que Galileu, que, desde a sua juventude, em Pisa, consagrara o

⁽¹⁷⁰⁾ V. DUHEM, *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 570.

⁽¹⁷¹⁾ V. *supra*.

esforço do seu pensamento à solução do duplo problema da queda — a queda propriamente dita, movimento para baixo, e a sua aceleração — tenha continuado a preocupar-se com ele em Pádua: ele compreendia perfeitamente que se tratava de um teorema — até mesmo do teorema — fundamental da ciência nova.

Ora, eis o que ele escreve a Paolo Sarpi naquela carta de 16 de Outubro de 1604 que atrás mencionámos⁽¹⁷²⁾: «Reflectindo nos problemas do movimento, para os quais, a fim de demonstrar os accidentes por mim observados, me faltava um principio absolutamente indubitavel que pudesse estabelecer como axioma, cheguei a uma proposição que parece suficientemente natural e evidente; estando ela suposta, demonstro depois o resto, nomeadamente que os espaços percorridos pelo movimento natural estão na proporção dupla do tempo e que, por conseguinte, os espaços percorridos em tempos iguais são como os números impares ab unitate e as outras coisas. E o principio é este: que o móvel natural vai aumentando de velocidade na própria proporção em que se afasta do ponto de partida; como, por exemplo, se um grave cai do ponto a pela linha *abcd*, suponho que o grau de velocidade que ele tem em *c* está para o grau de velocidade que ele tinha em *b* tal como a distância *ca* está para a distância *ba*, e assim, por conseguinte,

⁽¹⁷²⁾ Galileu a Paolo Sarpi in Venezia, Pádua, 16 de Outubro de 1604 (*Opere*, v. X, p. 115). «Ripensando circa le cose del moto, nelle quali, per dimostrare li accidenti da me osservati, mi mancava principio totalmente indubitabile, da poter porlo per assioma, mi son ridotto ad una proposizione la quale a molto del naturale et dell'evidente; et questa supposta dimostre poi il resto, cioè gli spazii passati dal moto naturale esser in proporzione doppia dei tempi, et per conseguenza gli spazii passati in tempi eguali esser come i numeri impari ab unitate, o le altre cose. Et il principio è questo: che il mobile naturale vadia crescendo di velocità con quella proportion che si discosta dal principio del suo moto; come v.g. cadendo il grave dal termine a per la linea *abcd*, suppongo che il grado di velocità che ha in *c* al grado di velocità che hebbe in *b* esser come la distanza *ca* alla distanza *ba*, et così consequentemente in *d* haver grado di velocità maggiore che in *c* secondo che la distanza *da* è maggiore della *ca*.»

ESTUDOS GALILAICOS

em d terá um grau de velocidade maior do que em c na medida em que a distância da é maior do que a distância ca .

Texto curioso — que teremos de confrontar com os de Descartes —, e que marca bastante bem o traço característico da lógica galilaica. O que este busca não é uma fórmula de alguma maneira descritiva, fórmula que lhe permitiria calcular as grandezas observáveis e mensuráveis do fenómeno da queda — os seus «acidentes» —, velocidade, caminho percorrido pelo móvel, etc. Muito pelo contrário: Galileu está já de posse de uma tal fórmula (deixaremos de lado a questão de saber como chegou ele a tal posse) ⁽¹¹⁸⁾; ele sabe já que os *espaços* percorridos em *tempos* iguais estão entre si como a série dos números ímpares; sabe igualmente que o *espaço* percorrido pelo móvel é proporcional ao *quadrado do tempo*... Procura, porém, algo mais, e isso que procura não é o vínculo lógico ou matemático que une aquelas duas proposições — esse vínculo, evidentemente, conhece-o ele —, mas sim um «princípio» fundamental e evidente que permita deduzir ou, como diz Galileu, «demonstrar» os «acidentes» do movimento de queda. Poder-se-ia dizer, aplicando a Galileu o dito de um físico moderno, que ele não tem qualquer confiança numa observação não verificada teoricamente. A epistemologia galilaica não é positivista. É arquiimediana ⁽¹¹⁹⁾.

Dito de outra maneira, a lei da queda dos corpos possui-a Galileu. Mas julga que tal não chega. Pois, essa lei, tem-na ele apenas como um facto. Não compreende o seu porquê. Os corpos caem; é um facto. Além disto, quando caem, o seu movimento acelera-se. Os espaços que percorrem ao cair estão entre si como

⁽¹¹⁸⁾ Sobre a história, ou a pré-história, da lei da queda dos corpos, ver P. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci, VIII, Les précurseurs Parisiens de Galilée*, Paris, 1913, E. J. DIJKSTERHUIS, *Val en Worp*, Groningen, 1924, e E. BORCHET, *Die Lehre von der Bewegung bei N. Orsese* (Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters, Bd XXXI, fasc. 3) Münster, 1934.

⁽¹¹⁹⁾ A interpretação «positivista» da epistemologia galilaica foi sobretudo desenvolvida por E. MACH. Ver *Mechanik*, pp. 122 e seg. É tão falsa quanto a interpretação análoga da epistemologia de Newton.

A LEI DA QUEDA DOS CORPOS

os números ímpares. Mas porquê tudo isto? Galileu acha que haveria que o saber.

Entendamo-nos: o que, segundo Galileu, há que explicar, ou compreender, não é o próprio facto da queda; não se trata de encontrar a *causa* pela qual os *corpos caem* ⁽¹¹⁸⁾. O que ele busca é a *essência* do movimento de queda. O movimento que os corpos executam ao cair é, com efeito, um movimento muito particular: um modo, um tipo bem determinado, de movimento que se realiza — o mesmo — onde quer que caiam corpos. É a natureza desse modo de movimento, a sua essência, ou, se se preferir, a sua *definição* (o que quer dizer a mesma coisa) que se trata de encontrar. É ela que há-de formar aquele princípio evidente e indubitável, axioma fundamental, que permitirá que dele se deduza tudo o resto.

Por que caem os corpos, não podia Galileu sabê-lo ⁽¹¹⁹⁾. Ninguém, antes de Newton, o podia explicar ⁽¹²⁰⁾. Ter renunciado à explicação causal em benefício da pesquisa da essência ou, como se disse, da «lei» foi muitíssimas vezes considerado como um belo título de glória para Galileu. Ora, essa renúncia (pela qual Galileu só forçado se resolveu), ao romper, ou, pelo menos, ao tornar mais lasso o vínculo do seu pensamento com o real, tornava a sua ta-

⁽¹¹⁸⁾ Galileu *sabe* que esta causa lhe escapa. Ele sabe que não sabe o que é a gravidade, ou que, pelo menos, não pode utilizar as suas hipóteses e as suas convicções.

⁽¹¹⁹⁾ Desde 1600 que Gilbert, em breve seguido por Kepler, remete a gravidade para a atracção. E Galileu, sem sombra de dúvida, partilha essa convicção. Mas a atracção gilbertiana é uma alma; e a de Kepler, depois de ter deixado de ser uma alma, permanece uma força *dirigida* para o objecto, isto é, algo de ainda mais misterioso. Acerca da física de Gilbert, v. E. Burt, *The Metaphysics of Sir Isaac Newton. An essay on the metaphysical foundations of modern physical science*, London, 1926; sobre Kepler, v. E. Cassirer, *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, vol. I, Berlin, 1911, pp. 328 e seg.

⁽¹²⁰⁾ Poder-se-ia dizer, sem dúvida, que o próprio Newton não o explica e que a sua atracção é tão misteriosa quanto a tendência dos semelhantes para se reunirem, que Platão e os «antigos» supõem, e da qual, aliás, ela deriva. Nada há de mais correcto. Sempre se tentou explicá-lo (v. E. MEYERSON, *Identité et Réalité*, Paris, 1926). Mas a atracção newtoniana é uma força não dirigida e que acompanha o espaço da geometria: é quanto basta.

refa especialmente mais difícil. O erro, pelo contrário, tanto mais facilmente aí se introduzia.

Regressaremos mais adiante a estas questões. Seja como for, Galileu, na sua invenção da essência do movimento de queda, comete um erro. Com efeito, o «princípio» que ele adopta como sendo suficientemente evidente e natural — a *velocidade do móvel* (em queda livre) *é proporcional à distância percorrida* — não conduz de modo algum à lei da queda, tal como ele próprio acaba de a formular. Conduz a uma lei bem diferente, e que ele teria sido incapaz de calcular⁽¹⁷⁸⁾.

O princípio que Galileu pretendia colocar como fundamento da sua dinâmica — a *velocidade do móvel é proporcional ao caminho percorrido* (em lugar do princípio correcto: *a velocidade do móvel é proporcional ao tempo transcorrido*, princípio que Leonardo da Vinci já conhecia), não é, tal como Wohlwill⁽¹⁷⁹⁾ e Duhem⁽¹⁸⁰⁾ bem mostraram, uma invenção galilaica. E poder-se-ia tentar explicar o carácter de evidência que Galileu lhe atribui através da influência, consciente ou não, de uma tradição. Galileu julga compreender; na realidade, não faz mais do que lembrar-se. Tal é, em suma, a explicação de Duhem. Mas esta limita-se a recuar o problema: como é que acontece que um princípio que, se bem que plausível, não nos parece nada *evidente*, tenha podido ser adoptado como tal por espíritos que, sem dúvida, não tinham o valor de Galileu, mas eram ainda assim espíritos notáveis? O que havia de tão sedutor nesse «princípio»?

Um relance pela história do problema permitir-nos-á, acreditamos, entrever a resposta.

⁽¹⁷⁸⁾ A fórmula correcta da lei: *a velocidade do móvel é proporcional à distância percorrida* seria a de uma função exponencial. V. P. TANNERY, *Mémoires scientifiques*, vol. VI, pp. 441 e seg.

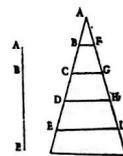
⁽¹⁷⁹⁾ V. E. WOHLWILL, «Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes», *Zeitschrift für Völkerpsychologie und Sprachwissenschaft*, vol. XIV e XV.

⁽¹⁸⁰⁾ DUHEM, *De l'accélération produite par une force constante*, Congrès international de Philosophie, II^e Session, Genève, 1905. *Études sur Léonard de Vinci*, vol. III, *Les Précurseurs parisiens de Galilée*, 1913. Aos textos citados

O princípio que Galileu tenta pôr na base da sua «demonstração» foi formulado, com toda a clareza desejável, por aquele J. B. Benedetti. No seu *Livro Contendo Diversas Especulações Matemáticas e Físicas*, Benedetti escreve, com efeito: «Aristóteles mais se aproxima do seu fim, mas antes que o corpo é tanto mais rápido quanto pronto quanto mais se afasta do seu ponto de partida»⁽¹⁸¹⁾. A oposição à concepção aristotélica é afirmada por Benedetti *expressis verbis*, e, contudo, poderíamos perguntar-nos, à primeira vista, se ela existe realmente. Com efeito, um corpo que vá de A para B, um corpo que caia, por exemplo, do alto de uma torre para o chão, ou mesmo um corpo que se dirija para o centro da Terra, não se aproxima ele do seu fim na própria medida em que se afasta do seu ponto de partida? Ou, se se preferir, não se afasta do seu

por Wohlwill e Duhem é conveniente acrescentar o de Michel Varron: Cf. M. VARRONIS Genevensis I. C. et cos. ord. *De Motu tractatus*, Genevae. Ex officina Jacobi Stoer, MDLXXXIV, pp. 12 e seg.: «Vis... naturalis, qua resquaelibet ad eocum suum naturalem tendit, subjectum suum, motu continue et ordinatim crescente, movet. Illius autem motus causa est quod facilius id moveatur, quod in motu est, quam quod quiescit. Vis igitur eadem, subjectum quod iam in motu est premens, illud magis movebit, quam si quiescat, et magis motum, magis etiam movebit: ita ut eadem vis motione fiat, quam per se sit. Et haec est causa cur iotus, quo magis ab altero venit, eo vehementior sit. Motus autem hulus spatia hanc celeritatis proportionem servant, ut quae est ratio totius spatij, per quod fit ille motus ad partem ipsius (utriusque intio inde sumpto, ubi est motus initium), eadem sit celeritas ad celeritatem. Exempli gratia, si vis aliqua per lineam ABE moverit, sitque AB illius linea pars, quae erit ratio AE ad AB, eadem erit celeritas motus in puncto E ad celeritatem motus in puncto B. Cujusmodi proportio observatur in parallellis triangulum secantibus. Ut enim se habet AC ad AB, sic CG ad BF, et ut AD ad AC, sic DH ad CG. Itaque si in spatia aliquot dividatur totius motus spatium, finis secundi duplo citius ferretur quam finis primi: finis vero tertij triplo citius quam finis primi et sic deinceps.»

⁽¹⁸¹⁾ V. J. Baptistae BENEDICTI, *Diversarum speculationum mathematicarum et physicarum liber*, Taurini, MDLXXXV, «Disputationes de quibusdam placitis Aristotelis, cap. XXIV, p. 184: «Arist. 8. cap. primi libri de coelo,



ponto de partida na própria medida em que se aproxima do seu fim? Ambas as expressões parecem perfeitamente equivalentes... Aliás, Nicolo Tartaglia, que, parece, foi o primeiro, pelo menos entre os modernos, a introduzir na discussão a consideração do ponto de partida, di-lo com muito bom senso: «Se um corpo igualmente grave se move com um movimento natural, quanto mais ele se vai afastando do seu princípio ou aproximando do seu fim, mais depressa vai.»⁽¹⁸²⁾

Acrescentemos que o próprio Benedetti está longe de desprezar a consideração do ponto de chegada, do fim natural do movimento. Com efeito, no preciso momento em que dirige a Aristóteles o reparo e a correção⁽¹⁸³⁾ que acabámos de citar, escreve: «Nos movimentos naturais e rectilíneos a impressão, a impetuosidade recebida cresce continuamente, pois o móvel tem em si mesmo a sua causa movente, isto é, a propensão para se dirigir ao lugar que lhe é destinado.»⁽¹⁸⁴⁾ E algumas linhas mais adiante, para explicar a aceleração do movimento de queda, Benedetti acrescenta⁽¹⁸⁵⁾: «Pois a impressão cresce à medida que o mo-

dicere non deberet quod quanto propius accedit corpus ad terminum ad quem, tanto magis sit velox, sed potius, quod quanto longius distat a termino à quo, tanto velocius existit. Quia tanto major sit semper impressio, quanto magis movetur naturaliter corpus, et continuo novum impetum recipit, cum in se motus causam contineat, quae est inclinatio ad locum suum eundi, extra quem per vim consistit. Neque etiam recte scripsit Arist. 9. cap. lib. 8 physicorum et. 2. lib. primi de coelo esse atque motum ex recto et circulari mixtum, quod omnino impossibile est.» Cf. DUHEM, *De l'accélération*, etc., p. 858 e WOHLWILL, *op. cit.*, vol. XV, p. 394.

⁽¹⁸²⁾ Nicolo TARTAGLIA, *La nuova scientia inventa da Nicolo Tartaglia*, l. I, prop. 1, citado por P. DUHEM, *op. cit.*, p. 875.

⁽¹⁸³⁾ Censura bastante injusta, aliás, pois que na sua *Fisica*, Aristóteles não menospreza, de modo nenhum, o ponto de partida: cf. *Physica*, VIII, 9, 265 B.

⁽¹⁸⁴⁾ J. B. BENEDETTI, *op. cit.*, p. 184: «Causam moventem, id est propulsionem eundi ad locum ei a natura assignatum.»

⁽¹⁸⁵⁾ J. B. BENEDETTI, *op. cit.*, p. 184: «Tanto major sit semper impressio, quanto magis movetur naturaliter corpus, et continuo novum impetum recipit, cum in se motus causam contineat, quae est inclinatio ad locum suum eundi, extra quem per vim consistit.»

vimento se prolonga, recebendo o corpo continuamente um novo *impetus*; com efeito, este contém em si mesmo a causa do seu movimento, que é a inclinação a recuperar o seu lugar natural, fora do qual é colocado por violência.»

Como pode Benedetti nestas condições, isto é, ao expor a pura concepção cosmo-física de Aristóteles, julgar que inova? Qual é o sentido do reparo que lhe dirige? E como é que ele não vê a equivalência da sua proposição e da que está a rejeitar?

A questão é importante. Mas, para a resolver, há que partir justamente destes factos: do facto de que Benedetti, embora mantendo uma concepção aristotélica, se sente em oposição a Aristóteles; bem como do facto de que, substituindo a proposição de Aristóteles (ou, pelo menos, a proposição que ele julga ser tal) pela sua, que lhe é formalmente equivalente, distingue esta daquela, e até, contra Tartaglia, opõe-lha.

Poder-se-á dizer, sem dúvida, que a questão que acabámos de colocar não tem, em si mesma, qualquer importância: sendo o pensamento de Benedetti obscuro, e até assaz confuso, os seus deslizes, as suas inconseqüências têm nisto mesmo uma explicação suficiente. Ora, é certo, o pensamento de João Baptista Benedetti não tem nada de um modelo de clareza. É, todavia, um pensamento vigoroso e honesto. É preciso não esquecer, para mais, que um pensamento — em geral, e nas épocas de transição em particular — pode ser obscuro e confuso sem que, por isso, perca todo o valor. Muito pelo contrário, tal como Duhem firmemente o afirmou, e tal como admiravelmente Émile Meyerson o mostrou, é no obscuro e no confuso que progride o pensamento. Este caminha do obscuro para o claro. Não vai do claro para o claro, como Descartes pretendia.

O pensamento de Benedetti é sem dúvida confuso. Mas é porque nele a tradição aristotélica se encontra com a tradição parisiense (a física do *impetus*) e sobre esta dupla tradição se enxerta uma tradição mais recente, ascendente, de física arqui-mediana. Benedetti, mesmo sendo, tal como dissemos, um parti-

dário resoluto de Copérnico⁽¹⁸⁸⁾, não é capaz de abandonar a concepção geral da cosmo-física aristotélica — substituí-la-ia pelo quê? —, mas tem, não obstante, razão em situar-se como adversário de Aristóteles. Com efeito, a física do *impetus*, que vê no movimento o efeito da força incluída no móvel, permite destacar o movimento do corpo da noção de fim para que este se dirige, permite isolar o corpo em movimento do resto do universo⁽¹⁸⁷⁾. Benedetti tem, pois, razão em não admitir a equivalência do afastamento do *terminus a quo* e da aproximação ao *terminus ad quem*, já que, justamente, a sua concepção do movimento permite suprimir — em pensamento, senão já de facto — o *terminus ad quem*. O móvel que se põe em movimento sob influência de uma força parte necessariamente de algures: do lugar onde estava em repouso; não se pode, portanto, passar, para definir o seu movimento, sem a noção de *terminus a quo*. Mas este termo basta; o móvel, sob a influência da força que o anima, parte — em movimento rectilíneo — numa certa direcção. Não se dirige *para um certo fim* (quer este fim, de facto, exista, quer não exista). O que é evidente no caso do movimento violento: quando se bate uma bola, o *impetus* que se lhe imprime determina imediatamente a velocidade e a direcção do movimento daquela. Pode-se, ao fazê-lo, ter em vista atingir um alvo. Em si, isso não é de modo algum necessário.

Alarguemos esta concepção ao caso do movimento natural. O móvel — o corpo grave (ou leve) — move-se (ou põe-se em movimento) numa certa direcção: para baixo (ou para cima). Não em direcção o um fim. Daí haver — contra Aristóteles — que falar do afastamento do ponto de partida, não da aproximação do ponto

⁽¹⁸⁶⁾ V. *supra*.

⁽¹⁸⁷⁾ Sobre a física do *impetus*, além das obras citadas de P. DUHEM e de WOHLWILL, ver E. J. DIJKSTERHUIS, *Val en Worp*, Groningen, 1924; R. MARCOLONGO, «La meccanica di Leonardo da Vinci», *Atti della Reale Accademia delle Scienze fisiche e matematiche di Napoli*, vol. XIX, 1932; E. BORCHERT, *Die Lehre von der Bewegung bei Nicolaus Oresme* (Beiträge zur Geschichte der Philosophie und Theologie des Mittelalters, Bd. XXXI, fasc. 3), Münster, 1934.

de chegada⁽¹⁸⁸⁾. O que, por seu lado, implica uma consequência muito grave: o movimento de um móvel é inteiramente determinado pelo seu estado passado, nada pelo seu estado futuro⁽¹⁸⁹⁾.

A concepção que Benedetti tem do movimento difere da de Tartaglia. Ou, se se preferir, a concepção de espaço que sustenta o raciocínio de Benedetti — a mesma concepção que a que sustentou os raciocínios do jovem Galileu⁽¹⁹⁰⁾ — difere da de Tartaglia. A equivalência que, para este último, existe, de modo nenhum existe para Benedetti, e isto justamente porque no espaço deste, espaço já não físico, mas sim geométrico, o movimento — rectilíneo — poderia prolongar-se indefinidamente. Coisa que não pode em Tartaglia; nem, muito menos, em Aristóteles.

O movimento, para Benedetti, é um efeito da força (*impetus*) incluída no móvel; e o seu espaço é um espaço não físico, mas sim geométrico: e, tal como vimos, para ele, o movimento no vazio é perfeitamente admissível. Mas o seu espaço, todavia, não é inteiramente homogéneo. Ainda há, para ele, direcções privilegiadas: cima e baixo. O seu espaço é arquimediano ou, mais exactamente, epicureu.

Não vamos, bem entendido, tentar refazer aqui a história do problema da queda e desenvolver todas as explicações (variação da resistência, reacção do meio, etc.) que os teóricos da Idade Média tinha imaginado para dar conta do facto surpreendente da aceleração⁽¹⁹¹⁾. Seremos, contudo, obrigados a recordar a ex-

⁽¹⁸⁸⁾ A afastamentos iguais, *qualquer que seja o ponto de partida*, corresponderão sempre, pois, acelerações iguais; concepção que se encontra ainda em Galileu e que o leva a cometer o erro de crer que o valor de *g* é sempre e em qualquer circunstância o mesmo.

⁽¹⁸⁹⁾ A noção de *impetus*, elaborada, como se sabe, para a explicação do movimento violento, permite, ou até implica, uma eliminação parcial do finalismo; permite, com efeito, conceber o movimento como sendo produzido por uma causa interna, a qual, no entanto, não é já determinada por um fim.

⁽¹⁹⁰⁾ Ver *supra*, Na *Alvorada da Ciência Clássica*.

⁽¹⁹¹⁾ Ver as obras citadas *supra*.

pliação nascida da noção de *impetus*, na qual se detiveram os precursores imediatos de Galileu.

A teoria do *impetus*, tal como vimos, consiste em conceber o movimento como sendo o efeito produzido por uma causa interna ao móvel. Esta causa — o *impetus* — é representada de uma maneira assaz vaga, sendo assimilada a uma forma, a uma qualidade, a uma força. É esta força, imprimida ao móvel pela acção do motor exterior — o choque — que, persistindo no corpo movido, explica a continuação do movimento deste. Basta assimilar o peso (*la pesanteur*) — ou a leveza — natural dos corpos a um tal *impetus* para explicar, de uma maneira análoga, o movimento natural e o movimento violento, para fazer compreender que o movimento natural e o movimento violento, ou, mais exactamente, os seus *impetus* podem adicionar-se num só e mesmo móvel; basta representarmos-nos um corpo — móvel — submetido, durante o seu movimento, à acção sucessiva de impulsões ou de choques que lhe imprimam novos *impetus* para termos uma explicação tolerável do movimento acelerado da queda.

Esta teoria, elaborada pelos nominalistas parisienses, era assaz popular entre os pensadores do século XVI. Piccolomini⁽¹²²⁾, Car-

⁽¹²²⁾ Alexandri PICCOLOMINI, *In mechanicis questionibus Aristotelis paraphrasis paulo quidem plenior*, ad Nicolaum Ardinghellum Cardinalem amplissimum. Excussum Romae, apud Antonium Bladium Asulanum, MDXLVII cap. XXXVIII, quaestio trigesimatertia (DUHEM, *De l'accélération*, etc., pp. 882 e seg.). «É preciso notar que há duas espécies de gravidade ou de peso; uma, que tem a sua fonte na própria natureza do corpo; a outra, superficial, que os Gregos nomeiam *επιφανεια*. Esta não é mais do que um certo *impetus* não permanente que pode ou adquirir-se no próprio corpo movido pela sua própria tendência (*qui vel acquiritur in re ipsa ex suo nutu mota*), ou ser imprimido violentamente por um motor que mova violentamente. Com efeito, quando uma pedra tende para baixo, torna-se ininterruptamente mais rápida porque, sem cessar, em consequência do movimento, adquire um maior peso (falo do peso artificial)... Do mesmo modo, quando uma pedra é projectada violentamente, recebe uma determinada gravidade ou uma determinada leveza superficial, imprimida por aquilo que a projecta. Tal não é mais do que um *impetus* acidentalmente adquirido, o qual move a pedra violentamente e a torna como que o móvel dela mesma até que este *impetus* acabe por esmo-

dano, Scaliger⁽¹²³⁾ — após Leonardo da Vinci — admitem-na. Benedetti expõe-na com toda a clareza desejável.

Os *impetus* acumulam-se, especialmente nos casos em que são imprimidos ao móvel antes que a influência do primeiro *impetus* — ou dos *impetus* precedentes — tenha desaparecido. Este ponto é importante: sendo, com efeito, o *impetus* uma causa eficiente que produz o movimento como seu efeito, esgota-se ao produzi-lo. Donde se segue que qualquer *impetus* se extenua, isto é, enfraquece devido ao próprio movimento do corpo que anima; daí o movimento afrouxar, e qualquer corpo, uma vez posto em movimento, tender a voltar ao repouso. Para que haja aceleração é preciso que o novo *impetus*, o novo choque, impulso ou tracção intervenha enquanto o *impetus* anterior ainda subsiste, isto é, enquanto o corpo se move.

Aplicada ao problema da queda, a teoria do *impetus* leva, nas suas formas mais elaboradas, a uma das seguintes concepções:

Ou se admite que, no primeiro instante da queda, o peso (*la pesanteur*) confere ao grave um movimento (um grau de velocidade) determinado; na sequência disto, o corpo em questão, no

recer e se dissipar. Este peso ou leveza não poderia tornar-se durável nem perfeito, pois a forma substancial do corpo que a sofre, a saber, o peso ou leveza que é natural a esse corpo, se opõe a que ela se imprima perfeita e profundamente... A virtude impulsiva finda, coisa que pode acontecer, seja pela resistência de algum objecto que possa repelir o móvel, seja pela tendência do próprio móvel, esforço resultante da sua própria natureza e que se torna mais potente que essa gravidade ou leveza superficial... Logo que o verdadeiro peso ultrapassa, pela potência do seu esforço, o *impetus* que o motor imprimiu na pedra, esta deixa de se mover violentamente e, pelo seu movimento próprio, tende para baixo.» Cf. *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 197.

⁽¹²³⁾ Julii Cesarii SCALIGERI, *Exotericarum exercitationum liber XV, De Subtilitate ad Hieronimum Cardanum*. Lutetiae apud Vascosanum MDLVII, citado por DUHEM, *De l'accélération*, etc., p. 884. Exerc. LXXVII. *Quamobrem mota rota facilius movetur postea*: «Os corpos pesados, uma pedra, por exemplo, nada têm que favoreça a movimentação (*mise en mouvement*); pelo contrário, são-lhe totalmente opostos. A pedra que é posta em movimento num

segundo momento, aparece como estando animado ou dotado do seu peso natural (constante) e, além deste, de um certo peso accidental, função da velocidade de que está animado. Unidos na sua acção, o peso natural e o peso accidental conferem ao grave um novo grau de velocidade, maior, naturalmente, do que o primeiro, e assim sucessivamente. Pode-se, pois, dizer que o peso (total) do corpo cresce continuamente à medida da queda, o que, por sua vez, explica o crescimento de velocidade.

Ou bem que se admite que o peso natural produz no grave um *impetus* que o leva para o seu fim, ou na direcção natural do seu movimento, e que, antes que esse *impetus* se tenha esgotado, o peso produz nele um segundo, que se junta ao primeiro e assim sucessivamente, de maneira que o grave «continua a aumentar de velocidade, já que se lhe encontra conjunta uma virtude movente perpétua».

Concepções bem subtis, sem dúvida, mas, tal como com muito bom senso notaram os aristotélicos de mais estrita observância⁽¹⁰⁴⁾, no fundo ilógicas: na primeira hipótese, com efeito, assimila-se o *impetus* — causa do movimento — ao seu produto ou efeito; na segunda, concebe-se o peso já não como uma força ou causa, mas sim como uma fonte de onde procedem os *impetus* que se acumulam no móvel.

Em ambas as concepções, os *impetus* nascem a cada instante do tempo, tal como Leonardo da Vinci, mais claramente do que qualquer dos seus sucessores, já tinha formulado: «A gravidade

plano horizontal não se move com um movimento natural... Então porque é que se move mais facilmente depois de o movimento ter começado? Porque, conformemente ao que acima dissemos a propósito do movimento de projecteis, a pedra recebeu já a impressão do movimento. A uma primeira parte do movimento sucede uma outra; e, no entanto, a primeira permanece. De modo que, se bem que um só motor exerça a sua acção, os movimentos que ele imprime nessa sucessão são múltiplos. Pois o primeiro impulso é conservado pelo segundo e o segundo pelo terceiro.» Cf. *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, p. 201.

⁽¹⁰⁴⁾ Ver Na Alvorada...

que desce livre adquire em cada grau de tempo um grau de movimento e, em cada grau de movimento, um grau de velocidade.»⁽¹⁰⁵⁾

Como sucede então que o próprio Leonardo, e, depois de Leonardo, Benedetti, e, depois deste, Michel Varron afirmem a proporcionalidade da velocidade não ao tempo decorrido, mas sim ao espaço percorrido? É visível que crêem na equivalência dos dois enunciados, e isto por uma razão muito simples: a cada instante do tempo corresponde, com efeito, um ponto do espaço percorrido. Ora, se, como diz Duhem⁽¹⁰⁶⁾, «para tirar da lei: a velocidade do movimento de um grave é proporcional à duração da queda, esta outra lei: o espaço percorrido pelo grave é proporcional ao quadrado da duração da queda, tivesse sido preciso que Leonardo possuísse a noção de velocidade instantânea, ou noutros termos a noção de *fluxão* ou de *derivada*», para notar, não obstante a correspondência biunívoca entre os pontos de duração (os instantes) e os pontos do percurso, a não equivalência destas duas grandezas, teria, sem dúvida, sido preciso que Leonardo e os seus sucessores tivessem em seu poder as primeiras noções de cálculo integral.

⁽¹⁰⁵⁾ *Les manuscrits de Léonard de Vinci*, publicados por Ch. Ravaisson-Mollien, ms. da Bibliothèque de l'Institut, fol. 44, verso. Paris, 1890, citado por DUHEM, *De l'accélération*, etc., pp. 870 e seg. «A gravidade que desce, em cada grau de tempo adquire um grau de movimento a mais do que no grau de tempo passado e, do mesmo modo, um grau de velocidade a mais do que no grau do tempo passado. Portanto, a cada quantidade duplicada de tempo a extensão da descida duplica, assim como a velocidade do movimento.» *Ibid.*, fol. 45, recto: «A gravidade que desce livremente adquire, em cada grau de tempo, um grau de movimento, e em cada grau de movimento um grau de velocidade. Digamos que no primeiro grau do tempo o peso adquire um grau de movimento e um grau de velocidade; no segundo grau do tempo, adquirirá dois graus de movimento e dois graus de velocidade e assim de seguida como acima se diz.» Cf. *Etudes sur Léonard de Vinci*, v. III, pp. 514 e seg. Sobre a física de Leonardo da Vinci, v. R. MARCOLONGO, «La meccanica di Leonardo da Vinci», *Atti della Reale Accademia delle scienze fisiche e matematiche di Napoli*, v. XIX, 1932.

⁽¹⁰⁶⁾ P. DUHEM, *De l'accélération*, etc., p. 872.

Aliás, depois de Arquimedes, depois de Nicolau Oresme, não seria talvez de mais exigir-lhes isso. Mas não sejamos demasiado severos; não atormentemos muito Leonardo e Benedetti, vendo-os, com a ajuda da noção equívoca de movimento prolongado, passar alegremente do tempo para o espaço, da duração do percurso para a trajectória percorrida. É mais fácil — e mais natural — *ver*, isto é, *imaginar*, no espaço do que *pensar* no tempo.

Duhem explica-nos muito bem por que é que nem Leonardo da Vinci nem Benedetti foram capazes de formular a lei exacta da queda. Por que é que estava reservado para Galileu fazê-lo. Não nos explica, todavia, por que é que, de duas relações equivalentes, ou que, pelo menos, eles acreditavam assim ser (velocidade proporcional ao tempo transcorrido, velocidade proporcional ao caminho percorrido), Leonardo, tal como, mais tarde, Galileu e Descartes, escolheram resolutamente a segunda. A razão parece-nos simultaneamente muito profunda e muito simples. Reside inteiramente no papel desempenhado na ciência moderna pelas considerações geométricas, pela inteligibilidade relativa das relações espaciais ⁽¹⁸⁷⁾.

O processo de onde saiu a física clássica consiste num esforço para racionalizar, por outras palavras, para geometrizar o espaço e para matematizar as leis da natureza. Trata-se, a bem dizer, do mesmo esforço, pois geometrizar o espaço não quer dizer outra coisa que não seja aplicar ao movimento as leis geométricas. E como é que — antes de Descartes — se poderia matematizar algo sem ser geometrizando-o?

Para mais, tal como acabámos de dizer, é mais «natural», mais «fácil», imaginar no espaço do que pensar no tempo. É a concepção em que se detêm Leonardo, Benedetti e Galileu parece, com efeito, suficientemente «natural». Pois, se nos representar-

⁽¹⁸⁷⁾ O espaço é racional — ou, pelo menos, o esquema do racional — ao passo que o tempo é dialéctico. Cf. E. MEYERSON, *Identité et Réalité*, Paris, 1926, pp. 27 e seg., 276 e seg., 280 e seg., *De l'explication dans les sciences*, Paris, 1921, vol. I, pp. 151 e seg., 261 e seg.; II, pp. 204 e seg., 377 e seg., 380 e seg.

mos, como Benedetti faz, corpos graves caindo através do seu espaço arquimediano, não seremos «naturalmente» levados a admitir que eles caem tanto mais depressa quanto mais se afastam do seu ponto de partida? Isto é, de quanto *mais alto* caem? Ou de quanto *mais baixo* caem? Não é natural fazer da velocidade deles função do espaço percorrido? Tomemos o exemplo de um corpo que cai da altura de cem pés. Ele chega ao chão com uma certa velocidade. Se o deixarmos cair de uma altura que seja o dobro daquela, chegará ao chão com uma velocidade maior. Que há de mais «natural» do que fazer depender tal velocidade do único elemento que, nos dois casos, difere: a altura da queda, isto é, o comprimento do caminho percorrido? E o que de mais natural há do que admitir uma relação entre a variação de altura e o crescimento de velocidade, estabelecer a velocidade como função da altura, admitir até uma proporcionalidade rigorosa? — Dizer: um corpo que cai do dobro da altura adquire ao cair uma velocidade dupla ⁽¹⁸⁸⁾? E, em relação a tal concepção, não parece pouco «natural» e até mesmo extremamente, e inutilmente, complicada a ideia de fazer depender a velocidade com que um corpo que cai percorre o espaço que atravessa, não desse espaço, mas sim do tempo que ele leva a percorrê-lo ⁽¹⁸⁹⁾?

O que força o pensamento a atribuir ao tempo, à duração, um valor e um papel eminentes na queda é, evidentemente, o facto de que a noção de tempo está implícita na de movimento;

⁽¹⁸⁸⁾ É misto que consiste o erro. Pois é perfeitamente exacto que a velocidade dependa da altura, e que, aliás, até só dependa da altura: eis, aqui, o postulado da dinâmica galilaica.

⁽¹⁸⁹⁾ Galileu dá-se perfeitamente conta disto. Assim também, quando, nos *Discursos*, propuser a sua definição do movimento uniformemente acelerado — acelerado relativamente ao tempo — colocará na boca de Sagredo a seguinte objecção (*Discorsi, Opere*, vol. VIII, p. 203): *Sagr.* «Tanto quanto ora me é dado compreender, parece-me que se obteria uma maior clareza se se pudesse definir, sem mudar de conceito: o movimento uniformemente acelerado é aquele no qual a velocidade aumenta como aumenta o espaço percorrido. De tal maneira, por exemplo, que a velocidade adquirida pelo móvel numa queda de quatro côvados seja dupla daquela que teria adquirido se tivesse caído num espaço de dois, e esta dupla daquela que teria depois do

mas também — e talvez sobretudo — é a análise, ou a explicação, causal desta última. As impulsões, os *impetus* sucedem-se no tempo; a sua acção dá-se, em primeiro lugar, no tempo, e apenas de uma maneira derivada no espaço. Esqueçamos por um instante a relação causal, a produção da queda, do movimento, da aceleração: imediatamente, deixando de ter algo que contrarie a sua tendência, o pensamento deslizará «naturalmente» para o espaço; a dinâmica, sem poder deter-se no estádio da cinemática, transforma-se em geometria. E é esta a razão por que Galileu, que já em Pisa tinha reconhecido a impossibilidade de fazer assentar na noção de *impetus* uma dinâmica matemática, que, tal como vimos, substitui a pesquisa da causa pela da essência, desliza, na primeira ocasião, para aquilo a que poderíamos chamar a geometrização excessiva (*géométrisation à outrance*).

Desde os seus primeiros trabalhos, em Pisa, o esforço do jovem Galileu, arquimediano e platónico⁽²⁰⁰⁾, dirige-se para um fim determinado: o de matematizar a física. Ninguém antes dele — nem mesmo Benedetti — tinha buscado esse objectivo tão conscientemente, tão pacientemente, tão obstinadamente. Ele tenta,

primeiro côvado. Porque me parece que não há que duvidar de que o grave que vem da altura de seis côvados tenha uma força de percussão dupla da que teria se tivesse caído de quatro mãos, tripla da que teria caído de duas, e sêxtupla, de uma.

Saiu: «Muito me consolo por ter tido um tal companheiro no erro. E posso dizer-vos que o vosso raciocínio tem tanta verosimilhança e probabilidade que o nosso autor, ele próprio, quando eu lho propus, não negou que também ele, durante algum tempo, tinha caído no mesmo erro. Mas o que depois me maravilhou extremamente foi ver mostrar, com quatro frases muito simples, não apenas a falsidade mas a impossibilidade... de duas proposições com tão suprema verosimilhança que, tendo-as proposto a muita gente, não encontrei nunca ninguém que com elas não concordasse livremente.» Cf. mais à frente a contra-objecção de Galileu.

⁽²⁰⁰⁾ Os historiadores do pensamento científico em geral, e os de Galileu em particular, raramente tiveram em conta o seu platonismo profundo e consciente. Mesmo aqueles que o notaram — E. STRAUSS (cf. a introdução à sua

de início, matematizar a física de Aristóteles: esforço que resulta num falhanço. Renova o seu esforço tomando como base a noção de *impetus*; resulta, uma vez mais, num falhanço. O que, aliás, se compreende — *post factum* — muitíssimo bem. Como se pode, com efeito, traduzir matematicamente a noção de *impetus*, noção vaga e confusa, próxima da experiência sensível, noção de uma qualidade que se não pode medir em si mesma? Como calcular o esgotamento progressivo do ímpeto? É algo que só se poderá fazer substituindo aquela noção obscura pelas de movimento e de força viva: transformação radical oculta — e favorecida — pelo uso de uma terminologia caduca⁽²⁰¹⁾. Como admitir a acumulação, no móvel, dos sucessivos *impetus*? É, ainda aqui, algo que só se poderá fazer a custo de uma transformação radical da concepção primitiva, substituindo a noção do seu engendramento por uma causa interna pela de acção repetida de causas externas⁽²⁰²⁾ (atracções ou choques), produzindo cada uma delas um efeito durável.

São transformações que Galileu não efectuará, sem dúvida, inteiramente: haverá que aguardar Descartes e Newton. Mas vimos desde os seus primeiros trabalhos, em Pisa, que o jovem

tradução do *Diálogo*, *Dialoge über die beiden hauptsächlichsten Weltssysteme*, Leipzig, 1891, p. XLIX); E. CASSIRER (cf. *Das Erkenntnisproblem in der Philosophie und Wissenschaft der neueren Zeit*, vol. I, Berlin, 1911, p. 389); M. BURTT (*The Metaphysics of Sir Isaac Newton. An essay on the metaphysical foundations of modern physical science*, London, 1925, p. 71) e L. OLSCHKI (cf. *Galilei und seine Zeit*, Halle, 1927, pp. 164-174), não nos parece que tenham apreciado com toda a justiça a importância real desse platonismo, nem o seu carácter consciente.

⁽²⁰¹⁾ Poder-nos-iam objectar que uma fórmula de esgotamento — análoga às fórmulas de Fourier — é perfeitamente concebível podendo enquadrar-se numa física do tipo da de Kepler. Sem dúvida. Na condição, justamente, de se «supor» para o *impetus* — resíduo do «élan», do esforço muscular — uma grandeza.

⁽²⁰²⁾ É interessante verificar que, mesmo nas teorias que põem em jogo a atracção mútua dos corpos (Kepler ou Newton), se divide a relação recíproca, substituindo-a por duas relações unilaterais.

Galileu descobre os vícios dos raciocínios de um Benedetti, de um Cardano, de um Tartaglia. Toda a doutrina destes se funda num paralogismo, ou num equívoco. É contraditório admitir que uma *causa* constante possa produzir um *efeito* variável. A queda de um grave num espaço arquimediano não pode, de maneira nenhuma, ser um movimento que, por si mesmo, aumente de velocidade. Admiti-lo seria o mesmo que admitir uma criação *ex nihilo*. Uma *causa* constante não pode produzir um *efeito* que não seja constante. A queda dos graves efectua-se, portanto, a uma velocidade constante. E se, de facto, um corpo que cai acelera o seu movimento — até atingir a sua velocidade própria — é porque no início ele foi retardado.

Esta engenhosa concepção, em que o leitor sem dúvida reconheceu a de Hiparco⁽²⁰³⁾, é, infelizmente, contraditória em si mesma ou, mais exactamente, incompatível com uma concepção geométrica do espaço, já que supõe necessariamente a noção de uma tendência do grave para um fim, a noção da distância do grave ao seu fim; e que, assim, já não deixa lugar para uma velocidade *constante* da queda⁽²⁰⁴⁾.

Galileu tenta, pois, outra coisa. Tenta, desta vez inspirando-se directamente em Arquimedes, construir uma física nos termos ou, se se quiser, segundo o modelo da hidrodinâmica. Seguindo a inspiração dos «antigos», abandona qualquer distinção qualitativa entre «pesado» e «leve»; faz cair a noção de movimento natural para «cima» (*vers le haut*); qualquer movimento será, doravante, explicado pela reacção — quantitativamente determinada — do corpo com o seu meio ambiente.

Uma outra tentativa, quase contemporânea, esforça-se por remeter as leis do movimento para as da alavanca. Poder-se-ia

⁽²⁰³⁾ V. *supra*. Galileu (*De Motu, Opere*, vol. I, p. 321, cf. DUHEM, *De l'accélération*, p. 892) afirma ter lido a exposição da teoria de Hiparco por Alexandre depois de ele próprio ter formado a sua concepção. É possível. Mas não deixa de ser certo que ela tinha sido exposta por Bonamico.

⁽²⁰⁴⁾ Pode-se admitir — se bem que ele não no-lo diga — que Galileu não deixou de descobrir o carácter falacioso da teoria de Hiparco.

dizer que Galileu tenta construir uma física de ligações rígidas⁽²⁰⁵⁾.

Não sabemos por que razões Galileu não levou mais adiante a sua tentativa de construir essa física hidrodinâmica, e o mesmo para a tentativa de fundar uma física de ligações rígidas. Mas talvez seja permitido colocarmos uma hipótese: a física hidrodinâmica, tal como a das ligações rígidas, exigem um espaço físico; não admitem a geometrização completa do espaço, nem sequer o movimento no vazio. Ora, o movimento no vazio e a geometrização do espaço são elementos essenciais da física galilaica; o contributo, para ele decisivo, da física do *impetus*. Ao abandonar esta dinâmica, Galileu preservará sempre as suas conquistas.

Temos de insistir na importância capital do abandono, por parte de Galileu, da noção de *impetus*, causa interna do movimento do móvel. Sem dúvida que ele conserva o termo⁽²⁰⁶⁾; mas o significado deste será completamente transformado: de *causa* do movimento o *impetus* passará a seu efeito. Quanto à concepção do *impetus*, causa do movimento, desaparece pura e simplesmente. Noção abastardada, confusa, obscura, não é, no seu pensamento, substituída por nada. Ou, o que quer dizer a mesma coisa, é substituída pelas de *velocidade* e de *movimento*. Já em Pisa, ao estudar os casos abstractos e privilegiados (os casos simples) do movimento (movimento circular «à volta de um centro», movimento horizontal, limite entre o movimento acelerado da descida e o da subida, retardado) Galileu aprendeu que, nestes casos, contrariamente ao próprio sentido da teoria do *impetus*, o movimento parecia poder perdurar eternamente⁽²⁰⁷⁾. Os teóricos do *impetus*, ou pelo menos alguns deles (Piccolomini, e mesmo já Buridan), afirmavam, é certo, que, em certos casos — o caso do movimento circular especialmente —, o *impetus* era eterno (imortal). O *impetus*, dizia-se, não tem nesses casos qualquer resistência a vencer; porque haveria

⁽²⁰⁵⁾ Ver mais atrás.

⁽²⁰⁶⁾ Newton ainda o emprega.

⁽²⁰⁷⁾ Ver mais atrás.

ele então de enfraquecer? Raciocínio onde se pode, sem dúvida, reconhecer um pressentimento confuso de uma verdade, mas que Galileu não podia admitir assim sem mais. O *impetus*, definido como causa do movimento, devia, Galileu via-o bem, esgotar-se na produção desse movimento. Se ele continuava, contudo, igual a si mesmo, é porque não desempenhava nenhum papel na continuação do movimento. Não é o *impetus* que mantém e faz durar o movimento: este conserva-se sozinho. E porque movimento implica velocidade como seu carácter essencial, dizer que o movimento se conserva tal qual quer dizer também que a velocidade se conserva igualmente. O movimento, tal como a velocidade, e até sobretudo esta última, modificam de certa maneira o seu estatuto ontológico: de efeitos produzidos por uma causa que só duram e existem enquanto dura a acção da causa que os produz (exemplo: pressão) passam a entidades relativamente independentes, que se conservam por si mesmas, tal como por si mesmo se conserva o repouso de um corpo que não se move⁽²⁰⁸⁾. Isto para o movimento «abstracto». Quanto ao movimento «concreto ou mecânico», é em Pádua que Galileu elabora a noção que, progressivamente, se solta e se liberta do magma confuso da doutrina do *impetus*. Em Pádua, com efeito, no curso de mecânica que aí professa, Galileu formula a sua noção de *momento*, peso multiplicado pela velocidade. Noção sem dúvida já pressentida pelo autor das *Questões Mecânicas*⁽²⁰⁹⁾ e ainda mais pelos teóricos do *impetus* na sua concepção do peso accidental, que entendem nascer do próprio movimento do grave, da sua velocidade, ou, mais exactamente, do seu *impetus*. Duhem teve toda a razão em insistir neste facto. Duhem não se apercebeu,

⁽²⁰⁸⁾ O repouso e o movimento tornar-se-ão, assim, *estados*, e possuirão a mesma dignidade ontológica. Ora, para Aristóteles e a escolástica, o repouso não é senão uma privação, ao passo que o movimento é um processo. Daqui resulta que o repouso perdura sem causa (uma privação não necessita de causa para perdurar), enquanto o movimento só existe como efeito se lhe aplique.

⁽²⁰⁹⁾ *Quaestiones Mechanicae*, II, 24.

todavia, da transformação decisiva que esta concepção sofre em Galileu⁽²¹⁰⁾.

A noção galilaica de *momento* implica, com efeito, para o movimento — ou para a velocidade — concretos aquela elevação de dignidade ontológica de que acabámos de falar; não há nenhuma precisão de *impetus*-causa, nenhuma precisão de um intermediário qualquer: o movimento combina-se *directamente* com o peso. Em resumo, o movimento, ou a velocidade, substituem pura e simplesmente o *impetus*. Substituição, já se vê, cheia de consequências muito graves: com efeito, enquanto o *impetus* que produzia o movimento não se *podia* conservar, e o movimento, por conseguinte, *devia necessariamente* perder velocidade e finalmente alcançar o repouso, o movimento, ou a velocidade, promovidos ao grau de entidades independentes podem perfeitamente conservar-se *indefinidamente*. O corpo, uma vez posto em movimento, não tem precisão de parar; nem sequer de diminuir de velocidade. Por aqui mesmo estão adquiridas as bases da solução correcta do problema da queda.

Quando, em 1604, Galileu aborda de novo o problema da queda dos graves, ele possui, tal como vimos, as fórmulas que ligam a duração da queda ao espaço percorrido; possui, acabámos de o mostrar, o princípio cardinal da conservação do movimento e da velocidade. Renuncia, por outro lado, a qualquer ensaio de explicação causal, e busca apenas um princípio, um axioma que per-

⁽²¹⁰⁾ A persistência da terminologia — Newton ainda fala de *impetus* — enganou Duhem, que não se apercebe da transformação profunda que esta noção, ou termo, sofreu em Galileu. E essa incompreensão que explica, mas não justifica, juízos como este, em que cada palavra é falsa (P. DUHEM, *De l'accélération*, etc., p. 888.): «...com o risco de contrariar as ideias recebidas e contradizer lendas, é-nos necessário afirmar estas proposições: As opiniões professadas por Galileu a propósito da dinâmica trazem a marca profunda dos princípios peripatéticos; afastam-se muito pouco das doutrinas admitidas por grande número de físicos do século XVI; estão consideravelmente atrasadas em relação às intuições de alguns dos seus predecessores.» Juízos análogos em *Études sur L. de Vinci*, vol. III, pp. 560 e seg., não estão mais bem fundamentados.

mita deduzir as leis descritivas da queda. Ora, vimo-lo igualmente, era a consideração causal que, na análise do movimento (do movimento em geral, e do da queda em particular), colocava em primeiro plano a noção de tempo. Não espanta, pois, que a renúncia à explicação causal reforce a tendência para a geometrização, logo para a espacialização. Em lugar de pensar o movimento, Galileu representa-se o movimento. Vê a linha, o espaço percorrido com uma velocidade variável. E é esta linha — trajectória — que ele toma por argumento da função velocidade. O esforço de geometrização, sustentado e corroborado pela imaginação, não entravado pelo pensamento causal, ultrapassa o fim que se tinha determinado; o fim da dinâmica era matematizar o tempo; ora, Galileu elimina-o. O esforço desenvolvido resulta num falhanço. Falhanço que Galileu não nota de imediato. Pois, ao refazer em sentido inverso o raciocínio que das fórmulas descritivas correctas o tinha levado a um princípio errado, reencontra, partindo deste princípio, as consequências correctas de que tinha partido.

Eis, com efeito, o que ele escreve ⁽²¹¹⁾:

⁽²¹¹⁾ Galileo GALILEI, *Frammenti attenenti ai Discorsi, etc. Opere*, vol. VIII, p. 373. «Io suppongo (e forse potro dimostrarlo) che il grave cadente naturalmente vada continuamente accrescendo la sua velocità secondo che accresce la distanza dal termine onde si parti: come v. g. partendosi il grave dal punto a e cadendo per la linea ab, suppongo che il grado di velocità nel punto d sia maggiore che il grado di velocità in c, quanto la distanza da è maggiore della ca, e così il grado di velocità in e esser al grado di velocità in d come ea a da, e così in ogni punto della linea ab trovarsi con gradi di velocità proporzionali alle distanze de i medesimi punti dal termine a. Questo principio mi par molto naturale, e che risponda a tutte le esperienze che veggiamo negli strumenti e machine che operano percottendo, dove il percuziente fa tanto maggiore effetto, quando da più grande altezza casca; e supposto questo principio, dimostrerò il resto.

Faccia la linea ak qualunque angolo con la af e per li puncti c, d, e, f, siano tirate le parallele cg, dh, ei, fk, e perchè le linee fk, ei, dh, cg, sono tra di loro come le fa, ea, da, ca, adunque le velocità ne i punti f, e, d, c sono come le linee fk, ei, dh, eg. Vanno dunque continuamente crescendo i gradi di velocità in tutti i punti della linea af secondo l'incremento delle

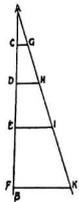
«Suponho (e talvez o pudesse demonstrar) que o grave que cai naturalmente vai aumentando sem cessar a sua velocidade à medida que cresce a distância ao ponto de onde parte; assim, por exemplo, se o grave parte do ponto a e cai pela linha ab, suponho que o grau de velocidade no ponto d será tanto maior do que o grau de velocidade em c quanto a distância da for maior do que ca: assim, o grau de velocidade em c estará para o grau em d como ca está para da, e assim em cada ponto da linha ab o grave terá um grau de velocidade proporcional à distância desse mesmo ponto ao tempo a. Este princípio parece-me muito natural, e dá bem conta de todas as experiências verificadas com as máquinas e com os instrumentos que agem pelo choque, em que o choque tem um efeito tanto maior quanto maior é a altura da queda. E, admitindo este princípio, demonstrarei o resto todo.

parallele tirate da tutti i medesimi punti. In oltre, perchè la velocità con la quale il mobile è venuto da a in d è composta di tutti i gradi di velocità che ha auti in tutti i punti della linea ac adunque la velocità con che ha passata la linea ac, ha quella proporzione che hanno tutte le linee parallele tirate da tutti i punti della linea ac sino alla ah, a tutte le parallele tirate da tutti i punti della linea ac sino alla ag; e questa proporzione e quella che ha il triangolo aeg, cioè è il \square^a ad al \square^a ac. Adunque le velocità con che si è passata la linea ad, alla velocità con che si è passata la linea ac, ha doppia proporzione di quella che ha da a ca. E perchè la velocità alla velocità ha contraria proporzione di quella che ha il tempo al tempo (imperò che il medesimo è crescere la velocità che sciemare il tempo), adunque il tempo del moto in ad al tempo del moto in ac ha subduplicata proporzione di quella che ha la distanza ad alla distanza ac. Le distanze dunque dal principio del moto sono come i quadrati de i tempi, e, dividendo, gli spazii passati i tempi eguali sono come i numeri impari ab unitate: che rispondo a quello che ho sempre detto e con esperienze osservato; e così tutti i veri si rispondono.

E se queste cose son vere, io dimostro che la velocità nel moto violento va decrescendo con la medesima proporzione, con la quale, nella medesima linea retta, cresce nel moto naturale. Imperò che sia il principio del moto violento il punto b ed il fine il termine a. E perchè il progetto non passa il termine a, adunque l'impeto che ha auto in b fu tanto, quanto potesa cacciarsi

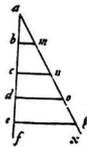
«Que a linha ak faça um ângulo qualquer com a (linha) af , que as paralelas cg, dh, ei, fk sejam tiradas pelos pontos c, d, e, f .

E porque as linhas fk, ei, dh, cg estão entre si como as (linhas) fa, ea, da, ca (entre elas), segue-se daí que as velocidades nos pontos f, e, d, c estão como as linhas fk, ei, dh, cg . Os graus de velocidade crescem, pois, em todos os pontos da linha af segundo o crescimento das paralelas tiradas desses mesmos pontos. Além disto, porque a velocidade com que o móvel veio de a para d é composta de todos os graus de velocidade que ele adquiriu em todos os pontos da linha ad , e que a velocidade com que atravessou a linha c é composta de todos os graus de velocidade



que adquiriu em todos os pontos da linha ac , segue-se que a velocidade com que ele atravessou a linha ad está para a velocidade com que atravessou a linha ac na mesma proporção em que todas as linhas paralelas tiradas de todos os pontos da linha ad até ah estão para todas as paralelas tiradas da linha ac até à linha ag ; e esta proporção é a do triângulo adh ao triângulo acg , isto é, a do quadrado de ad ao quadrado de ac ; assim, a velocidade com que a

sino al termine a; e l'impeto che il medesimo progetto ha in f è tanto, quanto può cacciarlo al medesimo termine a; e sendo il medesimo progetto in e, d, c, si trova congiunto con impeti potenti a spingerlo al medesimo termine a, nè più, nè meno: adunque l'impeto va giustamente calando secondo che scienza la distanza del mobile dal termine a. Ma secondo la medesima proporzione delle distanze dal termine a va crescendo la velocità, quando il medesimo grave caderà dal punto a, come di sopra si è supposto e confrontato con le altre prime nostre osservazioni e dimostrazioni: adunque è manifesto quello che volevamo provare.» Cf. também pp. 380 e 383. «Assumo, cum esse cadentis mobilis per lineam al accelerationem, ut pro ratione spacii peracti crescat velocitas ita, ut velocitas in e ad velocitatem in b sit ut spacium ca ad spacium ba , etc. Cum autem haec ita se habeant, ponatur ax cum al angulum continens, sumptisque partibus ab, ac, ad, ae , etc. aequalibus, protrahantur bm, cn, do, ep , etc. Si itaque



linha ad foi percorrida está para a velocidade com que foi percorrida a linha ac na proporção dupla da proporção de da a ca . E porque a relação da velocidade à velocidade é o inverso da relação do tempo ao tempo (pois crescer a velocidade é a mesma coisa que diminuir o tempo), segue-se que a duração do movimento que segue ad está para a duração do movimento que segue ac na relação subdupla da da distância ad à distância ac . As distâncias ao ponto de partida estão, pois, como os quadrados dos tempos, e, por conseguinte, os espaços atravessados em tempos iguais estão entre si como os números ímpares *ab unitate*: o que corresponde ao que eu sempre disse e às experiências observadas. E assim todas as verdades estão de acordo. E se aquelas coisas são verdadeiras, demonstro que a velocidade, no momento violento, decresce na mesma proporção em que cresce no movimento natural que se realiza ao longo da mesma linha recta.»

O raciocínio de Galileu é plausível. E, não obstante, é falso, porque, tal como facilmente se vê, contém um duplo erro⁽²²⁾. É verdade, sem dúvida, que as relações das velocidades são inversas das dos tempos; com a condição de que a base de comparação, isto é, o espaço percorrido, seja a mesma, e não, como no nosso caso, diferente. É igualmente verdade que a velocidade total do móvel seja a soma das velocidades (instantâneas) que ele adquire em todos os pontos do seu percurso; tal como é igualmente a soma das velocidades que ele adquire em todos os instantes do seu movimento: *cadentis per al velocitates in b, c, d, e, locis se habent ut distantiae ab, ac, ad, ae , etc., ergo se quoque habebunt ut lineae bm, cn, do, ep .*

Quia vero velocitas augetur consequenter in omnibus punctis lineae ae , et non tantum in adnotatis b, c, d , ergo velocitates illacomnes sese respicient ut lineae quae ab omnibus dictis punctis lineae ae ipsas bm, cn, do , aequidistanter producuntur. *Istae autem infinitae sunt et constituunt triangulum aep : ergo velocitates in omnibus punctis lineae ab ita se habent ad velocitates in omnibus punctis lineae ut triangulus abm ad triangulum acn , et sic de reliquis, hoc est in duplicata proportione linearum ab, ac .*

Quia vero pro ratione incrementi accelerationis tempora quibus motus ipsi fiunt debent imminui, ergo tempus quo mobile permeat ab ad tempus quo permeat ac erit ut ab linea ad eam quae inter ab, ac , media proportionalis existit.»

(22) Cf. DUHEM, *Études sur Léonard de Vinci*, vol. III, pp. 570 e seg.

mento. Mas essas «sommas» não são semelhantes: o crescimento constante e uniforme em relação ao tempo não o será em relação ao espaço, e inversamente, e especialmente as «sommas» que crescem em função linear do espaço percorrido não poderão ser representadas por triângulos. Esta representação só é válida para um crescimento uniforme em relação ao tempo. Galileu, uma vez mais, geometrizava em excesso e transfere para o espaço o que é válido para o tempo.

É curioso verificar que Galileu notará o seu erro⁽²¹³⁾ (o erro na escolha do princípio-definição do movimento acelerado da queda), enquanto Descartes, diga Duhem o que disser, nunca o fará. É ainda mais curioso verificar que o raciocínio pelo qual Galileu tenta demonstrar o absurdo do princípio que, no início, lhe parecia «natural» é, ele mesmo, perfeitamente erróneo⁽²¹⁴⁾.

Mas talvez não tenha sido este raciocínio especioso (e que pressupõe o conhecimento do método de dedução correcto) que guiou o pensamento de Galileu. É mais verosímil supor que o seu falhanço lhe tenha aparecido mais directamente: no próprio facto de que o seu «princípio axiomático» não podia desempenhar

⁽²¹³⁾ Eis o raciocínio de Galileu (V. *Discorsi*, etc. *Opere*, vol. VIII, p. 204) que DUHEM (*op. cit.*, p. 578) e CAVERNI (*Storia del metodo sperimentale in Italia*, vol. IV, Bologna, 1895, p. 295) consideram concludente: «Quando a velocidade tem a mesma proporção que os espaços transpostos ou a transpor, esses espaços serão transpostos em tempos iguais. Pois se a velocidade com a qual o grave transpõe o espaço de quatro côvados fosse dupla da velocidade com a qual transpôs os dois primeiros pés [sic] (pois o espaço é duplo do espaço) os tempos destes movimentos seriam iguais. Mas um mesmo móvel não pode transpor os quatro côvados e os dois, ao mesmo tempo, senão num movimento instantâneo, e nós vimos que o grave que cai executa o seu movimento no tempo, e passa os dois pés num tempo menor do que os quatro. Por consequência, é falso que a velocidade cresça com o espaço. «Este raciocínio contém um erro análogo àquele que referimos mais atrás: Galileu aplica aqui ao movimento, cuja velocidade aumenta proporcionalmente ao espaço percorrido, um cálculo que só é válido para o movimento uniformemente acelerado (em relação ao tempo). Ver E. MACH, *Mechanik*, Leipzig, 1921, p. 254, e P. TANNERY, *Mémoires Scientifiques*, vol. VI, pp. 400 e se.

⁽²¹⁴⁾ Uma dedução correcta teria levado Galileu às fórmulas encontradas por Descartes.

o papel que ele lhe queria atribuir; era, isso é evidente, impossível deduzir dele as fórmulas descritivas⁽²¹⁵⁾. Era até impossível — a Galileu — utilizá-lo correctamente. É provável que tal tenha bastado; é provável que um exame reiterado do problema tenha feito ver a Galileu onde estava o seu erro. Este residia, sem qualquer dúvida, na negligência da «afinidade suprema do movimento e do tempo»⁽²¹⁶⁾. E, talvez também, na negligência do factor causal. O elogio que mais tarde fez da noção de atracção formulada por Gilbert⁽²¹⁷⁾, a admiração que sempre professou pelo grande físico inglês⁽²¹⁸⁾, tornam esta hipótese assaz verosímil⁽²¹⁹⁾: o corpo que cai acelera o seu movimento porque, a cada instante seguinte, sofre a mesma acção instantânea — a atracção — da Terra. E a fórmula — definição essencial — do movimento acelerado deve tomar como base não o espaço, mas sim o tempo.

2. Descartes

Voltemo-nos agora para Descartes.

Foi em 1618 que Isaak Beeckman conheceu, por acaso, Du Perron. Beeckman não precisou de muito tempo para descobrir os dons extraordinários de que a natureza tinha cumulado o jovem francês⁽²²⁰⁾. Daí vir a dirigir-se a Descartes para lhe pedir que o

⁽²¹⁵⁾ A fórmula seria, com efeito, uma função exponencial.

⁽²¹⁶⁾ Expressão de Galileu, ver *infra*.

⁽²¹⁷⁾ Ver mais à frente.

⁽²¹⁸⁾ Galileu, no entanto, não adoptará nunca as teorias de Gilbert; e nunca tentará utilizar a noção gilbertiana de atracção para formular a teoria da queda dos corpos. Isto explica-se facilmente: a física de Gilbert é animista e, antes de Newton, ninguém, nem sequer Kepler, poderá matematizar a atracção.

⁽²¹⁹⁾ Cf. P. DUHEM, *De l'accélération...*, p. 907.

⁽²²⁰⁾ Descartes, aliás, não escondia nada os seus talentos. Cf. *Journal de Beeckman*, DESCARTES, *Oeuvres*, ed. A. T., v. X, p. 331: «Is dicebat mihi se in arithmetiis et geometricis nihil amplius optare: id est se tantum in his his novem annis profecisse quantum humanum ingenium capere possit.»