“Duas Novas Ciências”, Galileu Galilei – extratos

que me parecem poder ser aceitas sem recusa ou controvérsia.
Salviati - Contudo, elas são tão falsas e impossíveis, quanto o é que o movimento aconteça num instante; eis aqui uma clara demonstração. Quando as velocidades são proporcionais aos espaços percorridos ou a serem percorridos, estes espaços são percorridos em tempos iguais; se, portanto, as velocidades com as quais o móvel na queda percorreu o espaço de quatro braças forem o dobro das velocidades com as quais percorreu as duas primeiras braças (assim como o primeiro espaço é o dobro do segundo), então os tempos de tais percursos serão iguais. Mas que um mesmo móvel atravesse no mesmo tempo as quatro braças e as duas é algo que não pode acontecer, a não ser que o movimento seja instantâneo. Ora, vemos que o grave que cai realiza seu movimento no tempo, percorrendo as duas braças em menor tempo que as quatro, é falso, consequentemente, que sua velocidade aumente como o espaço. A falsidade da outra proposição é demonstrada com a mesma clareza. Com efeito, se o corpo que percute é o mesmo, a única forma de determinar a diferença e momento das percussões é através da diferença de velocidade. Quando, portanto, o corpo que vem de uma altura dupla percutisse com dupla intensidade, seria necessário que percutisse com o dobro da velocidade. Contudo, uma velocidade dupla percorre um espaço duplo ao mesmo tempo, e vemos que o tempo de queda para uma altura maior é mais longo.
Sagredo - V.Sa. nos revela conclusões ocultas com muita evidência e facilidade. Esta extrema facilidade faz que pareçam ter menor valor do que teriam, se fossem apresentadas de maneira mais complicada. Penso que os homens estimam menos um conhecimento alcançado com tão pouco esforço, que aquele obtido através de longas e incompreensíveis discussões.
Salviati - Para os que demonstram com brevidade e clareza os erros de proposições que foram tidas como verdadeiras por todo o mundo, seria um dano suportável serem tratados com desprezo, ao invés de agradecimento; contudo, é muito mais desagradável e perigoso verificar uma certa atitude que nasce em alguns que, pretendendo equiparar-se a outros no mesmo campo de estudos, têm como verdadeiras conclusões que, posteriormente, são descobertas e declaradas falsas por outro com um raciocínio simples e fácil. Não chamarei inveja a esta atitude que costuma converter-se, depois, em ódio e ira contra os descobridores de tais erros, mas a definirei como um desejo violento de querer manter erros inveterados, ao invés de aceitar as verdades que se descobrem. Este desejo leva-os, por vezes, a escrever contra as verdades, ainda que intimamente reconhecidas por eles mesmos, apenas com a finalidade de denegrir a reputação de outros aos olhos do vulgo numeroso e pouco instruído. A respeito dessas falsas conclusões, reputadas como verdadeiras, porém de fácil refutação, não poucas escutei de nosso Acadêmico, tendo inclusive anotado parte delas.
Sagredo - E V.Sa. não nos privará delas, comunicando-as no momento oportuno, ainda que fosse preciso para tal fim efetuar uma

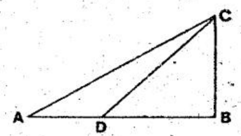
reunião especial. Por ora, retomando o fio de nossa conversação, parece-me que até o presente conseguimos estabelecer a definição do movimento uniformemente acelerado, do qual se trata a continuação. Tal definição é:

> Chamamos movimento igualmente, ou seja, uniformemente acelerado, àquele que, partindo do repouso, adquire em tempos iguais momentos iguais de velocidade.

Salviati - Estabelecida tal definição, o autor supõe e postula como verdadeiro somente um princípio, a saber:

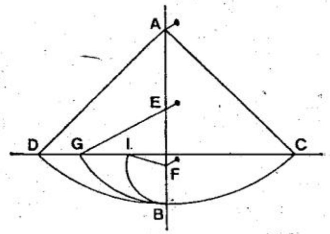
> Os graus de velocidade alcançados por um mesmo móvel em planos diferentemente inclinados são iguais quando as alturas desses planos também são iguais.

Ele chama altura de um plano inclinado à perpendicular que, traçada do ponto superior desse plano, cai sobre a linha horizontal que é traçada pelo ponto inferior desse mesmo plano inclinado; para melhor entendimento, seja a linha AB paralela ao horizonte, sobre a qual estão inclinados os dois planos CA e CD; a perpendicular CB que cai sobre a horizontal BA é chamada pelo autor de altura dos planos CA e CD. Ele supõe que os graus de



velocidade de um mesmo móvel que desce pelos planos inclinados CA e CD, adquiridos nos pontos finais A e D, são iguais, por ser sua altura CB a mesma; e o mesmo é o grau de velocidade que alcançaria o mesmo móvel, se caísse do ponto C ao ponto B.
Sagredo - Na verdade parece-me que esta suposição é tão provável que merece ser aceita sem controvérsia, entendendo sempre que se removam todos os obstáculos acidentais e externos e que os planos sejam suficientemente sólidos e lisos e o móvel tenha uma forma perfeitamente esférica, de modo que tanto o móvel como o plano não possuam asperezas. Suprimidos todos os obstáculos e impedimentos, a luz natural mostra-me sem dificuldade que uma bola pesada e perfeitamente redonda, descendo ao longo das linhas CA, CD, CB, chegaria aos pontos A, D, B, com ímpetos iguais.
Salviati - Seu raciocínio é muito plausível; mas, além do verossímil, quero por meio de uma experiência aumentar tanto sua probabilidade que pouco lhe faltará para ser uma demonstração necessária. Imaginem que esta folha de papel é um muro vertical e que de um prego fixado nele pende uma bola de chumbo de uma ou duas onças, suspensa de um fio muito fino AB, com duas ou três braças de comprimento, perpendicular ao horizonte, e desenhem na parede uma linha horizontal DC que corta em ângulo reto a perpendicular AB, que estará separada da parede aproximadamente

dois dedos. Conduzindo posteriormente o fio AB com a bola até AC, soltem essa bola: num primeiro momento veremos que ela desce descrevendo o arco CBD e ultrapassa o ponto B tanto que, pecorrendo o arco BD, chegará quase à paralela traçada CD, não che-



gando a tocá-la por um pequeno intervalo, o que é causado pela resistência que opõem o ar e o fio. Disto podemos perfeitamente concluir que o ímpeto adquirido pela bola no ponto B, ao transpor o arco CB, foi suficiente para elevá-la segundo um arco similar BD à mesma altura. Após efetuar e repetir muitas vezes esta experiência, fixemos no muro, próximo à perpendicular AB, como por exemplo em E ou F, um prego que sobressai da parede cinco ou seis dedos, a fim de que o fio AC, voltando a conduzir como antes a bola C pelo arco CB, encontre, quando chegar a B, o prego E, sendo a bola obrigada a descrever a circunferência BG com centro em E. Constataremos assim o que pode fazer o mesmo ímpeto que, engendrado no ponto B, faz subir o móvel pelo arco BD até a altura da linha horizontal CD. Constataremos então com prazer que a bola chega até a linha horizontal no ponto G, e o mesmo aconteceria,se o prego estivesse fixado mais abaixo, por exemplo, no ponto F, caso em que a bola descreveria o arco BI, terminando sempre sua subida precisamente na linha CD. Se, enfim, o prego fosse fixado tão baixo, que a parte do fio que ultrapassa o prego não chegasse a alcançar a linha CD (o que aconteceria se o prego estivesse mais perto do ponto B que dá intersecção de AB com a horizontal CD), então o fio se chocaria com o prego, enrolando-se neste. Esta experiência não deixa lugar para duvidar da verdade da suposição: com efeito, sendo os dois arcos CB e DB iguais e simétricos, o momento adquirido durante a descida pelo arco CB é o mesmo que aquele adquirido pela descida segundo o arco DB; mas o momento adquirido em B segundo o arco CB é suficiente para erguer o mesmo móvel segundo o arco BD; portanto, também o momento adquirido durante a descida DB é igual àquele que ergue o móvel pelo mesmo arco de B até D. Assim, de modo geral, todo momento adquirido durante a descida por um arco é igual àquele que pode fazer subir o mesmo móvel pelo mesmo arco. Ora, todos os momentos que provocam uma subida através dos arcos

BD, BG, BI são iguais, visto que são produzidos pelo mesmo momento adquirido durante a descida CB, como mostra a experiência; logo, todos os momentos que são adquiridos durante as descidas pelos arcos DB, GB, IB são iguais. (5)

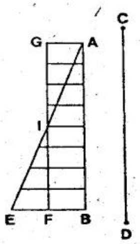
Sagredo - O raciocínio parece-me conclusivo e a experiência tão apropriada para a verificação do postulado, que podemos perfeitamente considerá-lo demonstrado.

Salviati - Não desejo, Sr. Sagredo, que nos ocupemos disso mais do que seria necessário, principalmente se consideramos que devemos servir-nos deste princípio para os movimentos que se realizam em superfícies retas, e não em superfícies curvas, nas quais a aceleração ocorre com graus muito diferentes daqueles que consideramos ocorrer nas superfícies planas. Assim, ainda que a experiência em questão nos mostre que a queda pelo arco CB confere ao móvel um momento tal que possa reconduzí-lo à mesma altura por qualquer um dos arcos BD, BG e BI, não podemos mostrar com a mesma evidência que o mesmo aconteceria quando uma bola perfeitamente redonda descesse por planos retos inclinados segundo as inclinações das cordas dos arcos considerados. Podemos mesmo supor que, formando-se no ponto B ângulos produzidos por estes planos retos, a bola que desce pela inclinação correspondente à corda CB, encontrando o obstáculo nos planos ascendentes segundo as cordas BD, BG, e BI, perderia no choque parte de seu ímpeto e não poderia alcançar a altura da linha CD; mas, removido o obstáculo que prejudica a experiência, parece-me que nosso entendimento é capaz de compreender que o ímpeto (que efetivamente adquire força com a queda) seria suficiente para reconduzir o móvel à mesma altura. Admitamos, portanto, isto como postulado, cuja verdade absoluta nos será posteriormente estabelecida vendo outras conclusões, produzidas sobre tais hipóteses, corresponder e concordar exatamente com a experiência (6). Uma vez introduzido este único princípio, o autor passa a tratar das proposições, deduzindo-as demonstrativamente, a primeira das quais é a seguinte:

TEOREMA I - PROPOSIÇÃO I

O tempo no qual um determinado espaço é percorrido por um móvel que parte do repouso com um movimento uniformemente acelerado é igual ao tempo no qual aquele mesmo espaço seria percorrido pelo mesmo móvel com um movimento uniforme, cujo grau de velocidade seja a metade do maior e último grau de velocidade alcançado no movimento uniformemente acelerado.

Representemos por meio da linha AB o tempo durante o qual um móvel, partindo do repouso em C, percorrerá o espaço CD com um movimento uniformemente acelerado. Representemos o maior e último grau de velocidade adquirido durante o intervalo de tempo AB pela linha EB, formando com AB um ângulo reto . Tracemos a linha AE, todas as linhas que partem de diferentes pontos de AB e são equidistantes e paralelas a BE representarão os graus crescentes

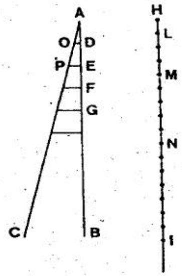


de velocidade a partir do instante A. Dividamos ao meio a linha BE no ponto F e tracemos FG paralela a BA e AG paralela a BF, formando assim o paralelogramo AGFB, igual ao triângulo AEB, visto que o lado GF divide ao meio o lado AE no ponto I. Se, por outro lado, prolongamos as linhas paralelas do triângulo AEB até IG, a soma de todas as paralelas contidas no quadrilátero será igual à soma das paralelas contidas no triângulo AEB, posto que as linhas paralelas do triângulo IEF são equivalentes às linhas contidas no triângulo GIA, e aquelas contidas no trapézio AIFB são comuns. Uma vez que cada um e todos os instantes do intervalo de tempo AB correspondem a cada um e todos os pontos da linha AB, as linhas paralelas traçadas a partir desses pontos no interior do triângulo AEB representam os graus crescentes de velocidade, enquanto que as paralelas contidas no paralelogramo representam os graus de velocidade que não crescem, mas que se mantém constantes ; é evidente que a soma dos momentos de velocidade, no caso do movimento acelerado, é representada pelas paralelas crescentes do triângulo AEB, enquanto que, no caso do movimento uniforme, é representada pelas paralelas iguais do paralelogramo GB. Com efeito, os momentos que faltam na primeira metade do movimento acelerado (aqueles que são representados pelas paralelas do triângulo AGI) são compensados pelos momentos representados pelas paralelas do triângulo IEF. E, portanto, evidente que espaços iguais serão percorridos em tempos iguais por dois corpos, dos quais um, partindo do repouso, se move com movimento uniformemente acelerado, enquanto que o outro, que se move com velocidade uniforme, se desloca com um movimento que é igual à metade do momento máximo de velocidade atingido pelo primeiro; que é o que se queria demonstrar.

TEOREMA II - PROPOSIÇÃO II

Se um móvel, partindo do repouso, cai com um movimento uniformemente acelerado, os espaços por ele percorridos em qualquer tempo estão entre si na razão dupla dos tempos, a saber, como os quadrados desses mesmos tempos.

Representemos o tempo que tem início no instante A por meio da linha reta AB, na qual tomamos dois intervalos quaisquer de tempo AD e AE. Seja HI a linha segundo a qual o móvel, partindo do repouso em H, cairá com um movimento uniformemente acelerado; seja HL o espaço percorrido durante o primeiro intervalo de tempo AD e HM o espaço percorrido durante o intervalo de tempo AE. Afirmo que o espaço MH está para o espaço HL numa proporção du-



pla daquela que o tempo EA tem para o tempo AD; e podemos também afirmar que os espaços HM e HL têm a mesma proporção que os quadrados de EA e de AD. Tracemos a linha AC que forma um ângulo qualquer com a linha AB; e a partir dos pontos D e E tracemos as linhas paralelas DO e EP: se DO representa o grau máximo de velocidade adquirido no instante D do intervalo de tempo AD, PE representará, por definição, a velocidade máxima obtida no instante E do intervalo de tempo AE. Mas, conforme foi demonstrado acima a propósito dos espaços percorridos, esses espaços são os mesmos, se um móvel, partindo do repouso, se move com um movimento uniformemente acelerado e se, durante um intervalo de tempo igual, ele se move com um movimento uniforme, cuja velocidade é a metade da velocidade máxima adquirida durante o movimento acelerado. Segue-se que as distâncias MH e LH são idênticas às que seriam percorridas nos intervalos de tempos AE e DA por movimentos uniformes, cujas velocidades seriam iguais à metade daquelas representadas por DO e EP. Se tiver, portanto, sido provado que as distâncias MH e LH estão na dupla proporção dos tempos EA e DA, a proposição terá sido provada. Na quarta proposição do livro primeiro foi demonstrado que os espaços percorridos por dois corpos com movimento uniforme estão entre si numa proporção que é igual ao produto da proporção das velocidades com a proporção dos tempos. Neste caso, porém, a proporção das velocidades é a mesma que a proporção dos tempos (uma vez que a proporção entre AE e AD é a mesma que a proporção entre a metade de EP e a metade de DO, ou entre PE e OD) . Consequentemente, a proporção entre os espaços percorridos é a mesma que o quadrado da proporção entre os tempos; o que queríamos demonstrar.

Fica, portanto, claro que a proporção entre as distâncias é igual ao quadrado da proporção entre as velocidades máximas, a saber, entre as linhas PE e OD, posto que PE está para OD assim como EA está para DA.