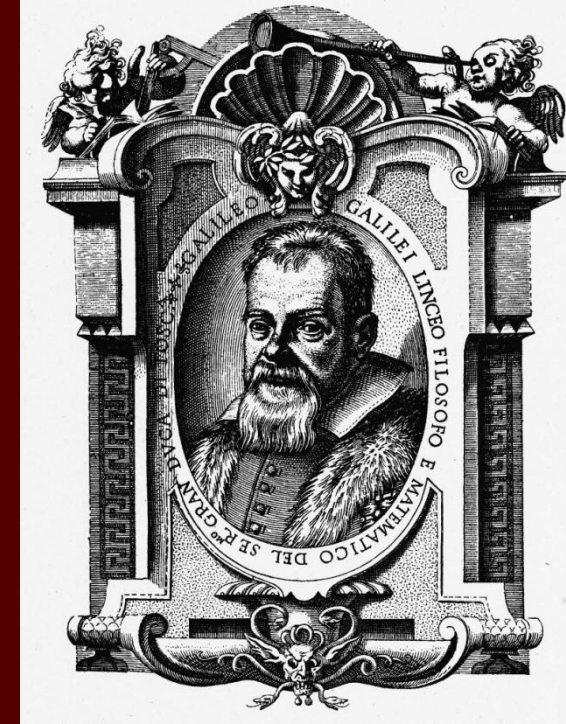


Galileu Galilei

Parte II

Mecânica e cosmologia



Filosofia e História da Ciência
Moderna

Prof. Valter A. Bezerra

Departamento de Filosofia

FFLCH-USP

Seção I

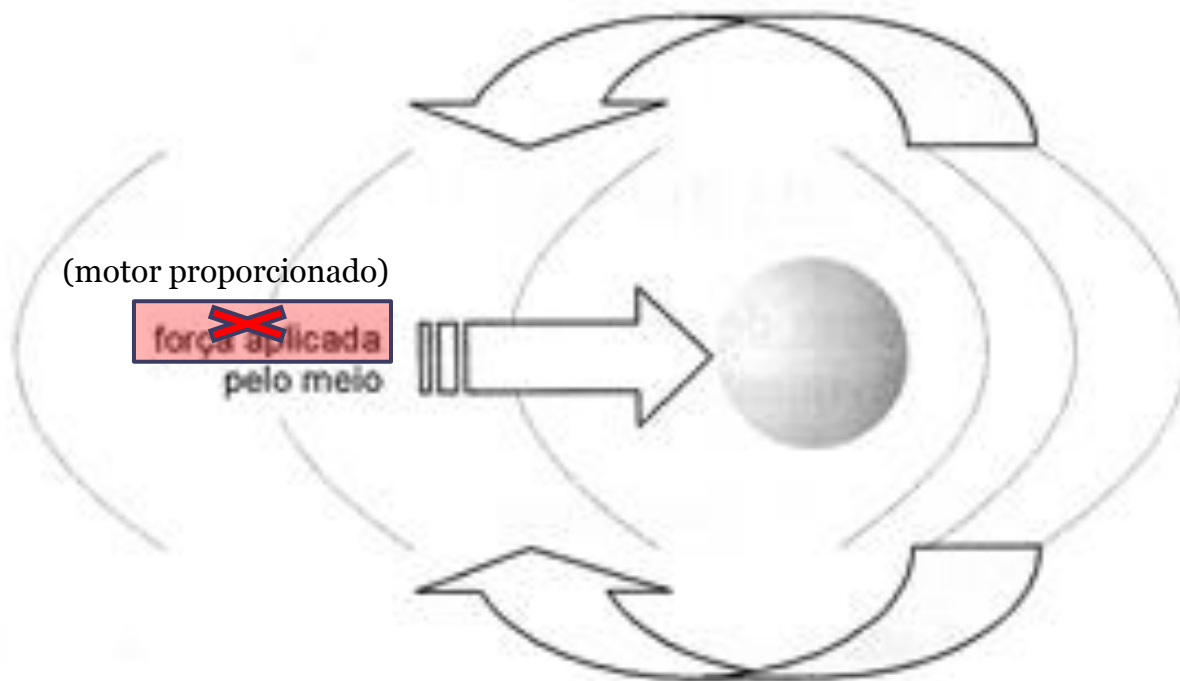
Breve panorama dos antecedentes antigos e medievais

Lançamento e *antiperistasis*

«E quanto ao fato de que, quando coisas são arremessadas, elas continuam a mover-se quando o arremessador já não está em contato com elas? Isso pode ser devido, como dizem alguns, à substituição (*antiperistasis*), ou ao ar sendo empurrado mais rapidamente, de maneira que ele supera o movimento natural que o objeto empurrado teria em direção ao seu lugar natural. (Porém nenhuma dessas condições se verifica num vazio; a única maneira pela qual algo pode se mover é sendo carregado por alguma outra coisa.)» (*Física*, IV.8, 215a14)⁽¹⁾

(1) Cf. também *Física*, VIII.10, 266b25-267a2, onde se discute o caráter “sucessivo” da *antiperistasis*: “Apesar das aparências, esse não é um movimento contínuo; pois os objetos ou são consecutivos, ou estão em contato, uma vez que não está envolvido um único motor, mas uma série de motores, um após o outro. [...] As coisas são, no entanto, de tal maneira que a aparência é de uma única coisa que é movida continuamente. Assim, surge a questão: pelo que ela é movida? E concluímos que ela não é movida por um único motor.” Naquela passagem também se fornece uma explicação para a cessação do movimento: “O processo de parada começa quando cada membro consecutivo da série possui menor poder de causar movimento, e o movimento finalmente chega ao fim quando o membro precedente da série não mais faz do seguinte uma causa de movimento, porém tão somente o faz mover-se. O movimento desses dois últimos membros da série, o motor e o móvel, necessariamente cessa da maneira simultânea, e assim, o movimento todo chega ao fim.”

Lançamento e *antiperistasis*



O meio ao contornar o projétil para ocupar o vazio deixado por ele impulsiona-o para frente, garantindo assim a presença de ~~uma força~~ durante o movimento.

Impetus

«Esse *impetus* é uma coisa de natureza permanente (*res nature permanentis*) [i.e. não-sucessiva], distinta do movimento local com o qual o projétil é movido. [...] E é verossímil (*verisimile*) que aquele *impetus* seja uma qualidade naturalmente [i.e. fisicamente] presente e predisposta a mover um corpo no qual ela é impressa, da mesma forma pela qual se diz que uma qualidade impressa no ferro por um ímã é que move o ferro em direção ao ímã. E também é verossímil que, assim como aquela qualidade – o *impetus* – é impressa no corpo movente pelo motor, juntamente com o movimento, assim também juntamente com o movimento ela possa ser interrompida, corrompida (destruída) ou impedida por uma resistência ou por uma inclinação contrária.» (1)

[John Buridan, *Questões sobre os oito livros da Física de Aristóteles*, Livro VIII, Questão 12, § 7, trad. do latim por Clagett, e do inglês por VAB.]

(1) Dentre as diferenças entre o conceito de *impetus* de Buridan e o *impetus* de Oresme, está a de que, para o primeiro, o *impetus* está relacionado com a *velocidade*, ao passo que, para o segundo, está relacionado com a *aceleração*.

Retomando o problema da queda dos corpos via *impetus*

“One must imagine that a heavy body not only acquires motion unto itself from its principal mover, i .e., its gravity, but that it also acquires unto itself a certain impetus with that motion. This impetus has the power of moving the heavy body in conjunction with the permanent natural gravity. And because that impetus is acquired in common with the motion, hence the swifter the motion is, the greater and stronger the impetus is. So, therefore, the heavy body is moved from the beginning [of motion] by its natural gravity only; hence it is moved slowly. Afterward it is moved [still] by that same gravity and [also] by the impetus acquired at the same time; consequently it is moved more swiftly. And because the movement becomes swifter, therefore the impetus also becomes greater and stronger, and thus the body is moved by its natural gravity and by that greater impetus simultaneously, and so again it will again be moved faster; and thus it will always and continually be accelerated to the end.”

[John Buridan, *Questões sobre os quatro livros dos céus e do mundo de Aristóteles*, II, Questão 12, § 6, trad. do latim por Clagett.]

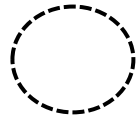
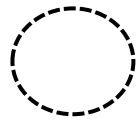
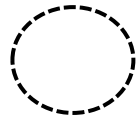
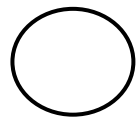
Esta explicação da aceleração durante a queda foi qualificada por Stillman Drake como “um exemplo elegante de bom raciocínio físico” e “a primeira explicação plenamente racional daquele fenômeno, e a melhor até a época de Newton”.

Retomando o problema da queda dos corpos via *impetus*

“Dessa teoria também vem a causa pela qual o movimento de um corpo grave para baixo é continuamente acelerado (*continue velocitatur*). Pois, no início, somente a gravidade o movia. Assim, ele se movia mais lentamente, mas ao mover-se ela imprimiu um *impetus* no corpo grave. Ora, agora o move o *impetus*, agindo juntamente com a gravidade. Desse modo, o movimento torna-se mais rápido; e por aquela quantia pela qual ele é mais rápido, pela mesma torna-se o *impetus* mais intenso. Portanto, evidentemente o movimento torna-se constantemente mais rápido.”

[John Buridan, *Questões sobre os oito livros da Física de Aristóteles*, Livro VIII, Questão 12, § 6, trad. do latim por Clagett, e do inglês por VAB.]

Retomando o problema da queda dos corpos via *impetus*



Motor do movimento: {gravidade intrínseca do corpo}

Acréscimo de velocidade \rightarrow *Impetus* 1

Motores: {gravidade intrínseca + *impetus* 1}

Novo acréscimo de velocidade \rightarrow *Impetus* 2 ($>$ *impetus* 1)

Motores: {gravidade intrínseca + *impetus* 2}

Novo acréscimo de velocidade \rightarrow *Impetus* 3 ($>$ *impetus* 2)

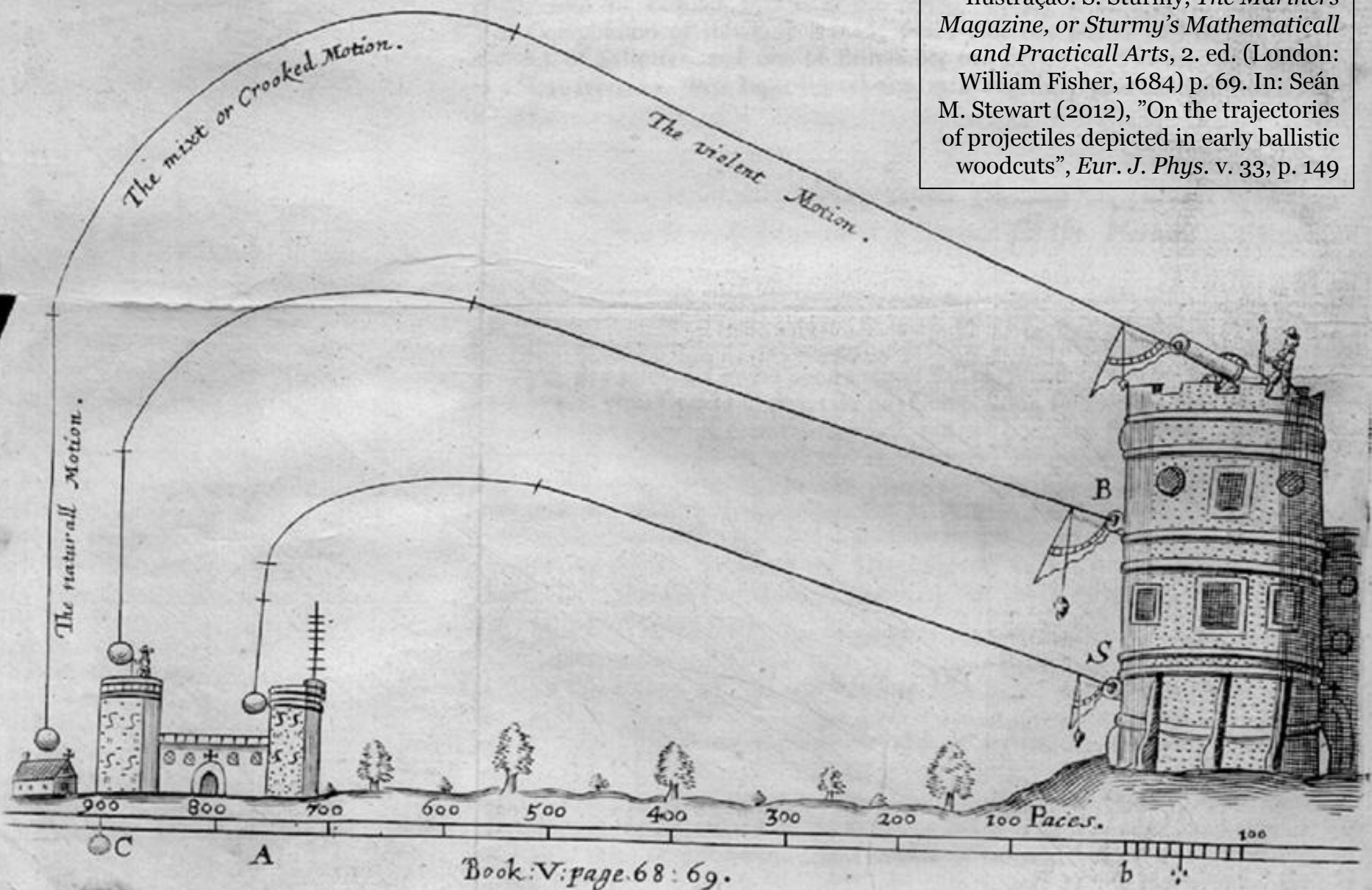
Etc...

Retomando o problema do lançamento de projéteis via *impetus*

«Podemos e devemos dizer que na pedra, ou em outro projétil, existe algo impresso que é a força motiva (*virtus motiva*) daquele projétil. E isso é evidentemente melhor do que recair no enunciado de que é o ar que continua a mover o projétil. Portanto, parece-me que se deveria dizer que o motor que move um corpo móvel imprime (*imprimit*) nele um certo *impetus* ou um certo poder motivo (*vis motiva*) no corpo movente, o qual age naquela direção para a qual o motor estava movendo o corpo móvel, seja para cima ou para baixo, ou lateralmente, ou circularmente. E, pela quantia pela qual o motor move o corpo mais rapidamente, pela mesma quantia ele irá imprimir nele um *impetus* mais forte. É por esse *impetus* que a pedra é movida depois que o projetor deixa de mover. Mas esse *impetus* é continuamente diminuído (*remittitur*) pela resistência do ar e pela gravidade da pedra, que inclinam-na em uma direção contrária àquela na qual o *impetus* estava naturalmente predisposto a movê-la. Assim, o movimento da pedra torna-se cada vez mais lento e, finalmente, o *impetus* é tão diminuído ou corrompido que a gravidade da pedra vence e move a pedra para baixo, para o seu lugar natural.»

[John Buridan, *Questões sobre os oito livros da Física de Aristóteles*, Livro VIII, Questão 12, § 4, trad. do latim por Clagett, do inglês por VAB]

Ilustração: S. Sturmy, *The Mariners Magazine, or Sturmy's Mathematicall and Practicall Arts*, 2. ed. (London: William Fisher, 1684) p. 69. In: Seán M. Stewart (2012), "On the trajectories of projectiles depicted in early ballistic woodcuts", *Eur. J. Phys.* v. 33, p. 149



A propósito, estes diagramas representando o movimento de projéteis proporcionam-nos exemplos expressivos de como a observação se vê impregnada e matizada por pressupostos teóricos.

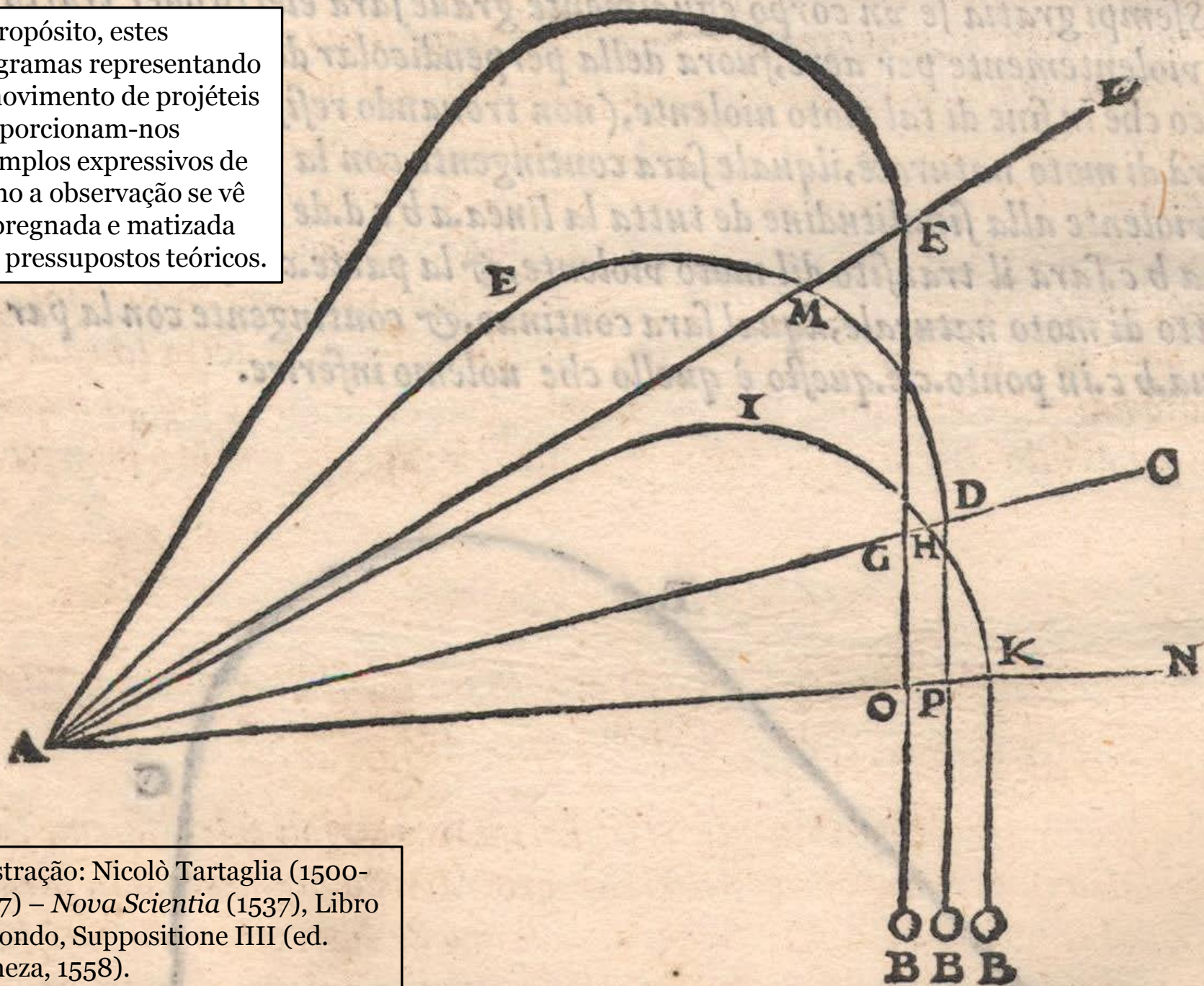
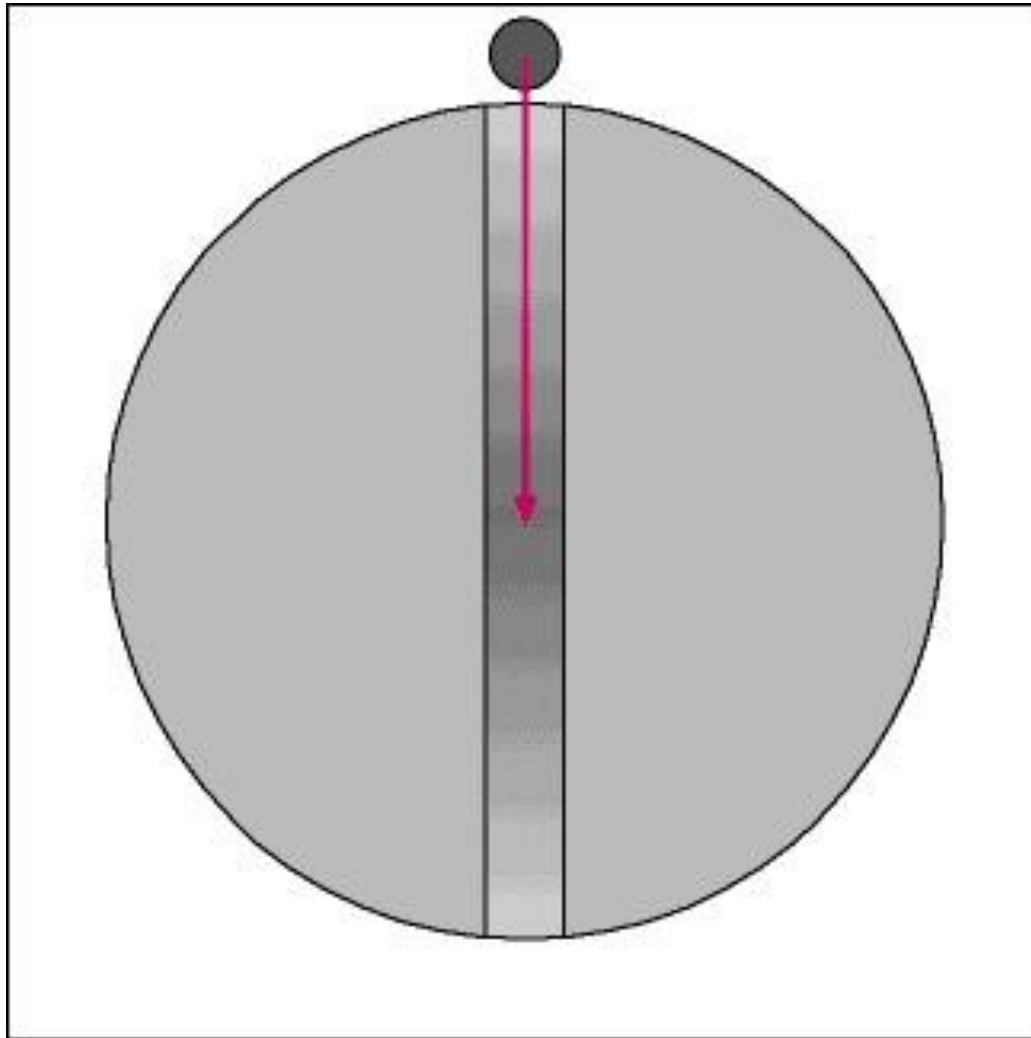


Ilustração: Nicolò Tartaglia (1500-1557) – *Nova Scientia* (1537), Libro Secondo, Suppositione IIII (ed. Veneza, 1558).

Viagem através do centro da Terra



Viagem através do centro da Terra / Oresme

“E esta [impetuosidade] não é a gravidade, propriamente falando, pois, se uma passagem fosse perfurada daqui ao centro da Terra e ainda mais além, e algo pesado descesse por essa passagem ou buraco, quando ela chegasse ao centro, iria passar direto e subir, graças a essa qualidade acidental e adquirida, e então desceria novamente, indo e vindo várias vezes, da mesma maneira que um peso pendurado em uma barra por uma longa corda balança para a frente e para trás. Portanto, essa impetuosidade não é propriamente a gravidade, visto que provoca a subida. E tal qualidade existe em todo movimento – tanto natural quanto violento – à medida que a velocidade aumenta, exceto no caso do movimento dos céus. E tal qualidade é a causa do movimento continuado daquelas coisas arremessadas, quando elas não estão mais em contato com a mão ou instrumento que as arremessa.”

(Nicole Oresme, *Sobre o livro dos céus e do mundo de Aristóteles*, I, 18.)

Viagem através do centro da Terra / Alberto de Saxônia

“Um corpo grave em descida adquire para si um *impetus* tal que não é imediatamente corrompido, e assim, quando o corpo atinge um obstáculo, aquele *impetus* que ainda não se corrompeu impele o corpo ao movimento e, não sendo capaz de mover o corpo mais para baixo, ele inversamente move o corpo para cima. E continua a fazer assim até que aquele *impetus* seja corrompido. **De acordo com essa teoria, dir-se-ia que, se a Terra fosse completamente perfurada, e através daquele buraco um corpo grave descesse rapidamente até o centro, então, quando o centro de gravidade do corpo descendente estivesse no centro do mundo, esse corpo iria se mover-se ainda mais além do centro no outro sentido, i.e. em direção aos céus, pois o *impetus* nele ainda não teria se corrompido. E, ao assim subir, quando o *impetus* se esgotasse, ele iria inversamente descer. E, em tal descida, ele adquiriria novamente para si um certo pequeno *impetus*, por meio do qual ele se moveria novamente para além do centro. Quando esse *impetus* se esgotasse, ele desceria novamente. E assim ele seria movido, oscilando em torno do centro até que não houvesse mais nenhum *impetus* nele, e então ele chegaria ao repouso.”**

(Alberto de Saxônia, *Questões sobre os quatro livros dos céus e do mundo de Aristóteles*, II, Questão 14.)

Viagem através do centro da Terra / Galileu

- Galileu, no *Diálogo*, 2^a. Jornada, [253]-[254], pp. 308-309, retoma o experimento de pensamento do túnel, nos títulos: “O movimento dos pêndulos graves perpetuar-se-ia, removidos os impedimentos” e “Quando o globo terrestre fosse perfurado, um grave descendente por tal furo percorreria, ascendendo depois para além do centro, o mesmo espaço quanto foi aquele da descida”.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

Alguns argumentos contra o movimento da Terra

- **Argumento da torre / argumento da queda** (Exposto por Galileu, *Diálogo*, 2a. Jornada, p. 206-207; versão original em Aristóteles, *De Caelo*, II, 14; exposto também por Copérnico, *Sobre as revoluções*, Livro I, Cap. VII, p. 38)
- Se Terra possuísse um movimento de rotação diurna, quando deixássemos cair uma pedra pesada do alto de uma torre alta, a Terra deveria deslizar por baixo de modo que, quando a pedra chegasse ao solo, a Terra teria de deslocado, e a pedra cairia bem distante do pé da torre. Ora, não observamos isso. Logo, a Terra não se move com rotação diurna.

Alguns argumentos contra o movimento diurno da Terra

- **Argumento do tiro vertical** (v. original em Aristóteles, *De Caelo*, II, 14; exposto por Galileu, *Diálogo*, 2a. Jornada, pp. 206, 207, 220; e por Tycho Brahe, *Epístolas astronômicas*) — A bala disparada para cima, após atingir a altitude máxima, cairia a ocidente.
- Aristóteles, *De Caelo*, II, 14, 296b24: “Está bem claro, então, que a Terra deve estar no centro e imóvel, não apenas pelas razões já fornecidas, mas também porque os corpos graves arremessados violentamente e diretamente para cima voltam ao ponto de partida, mesmo se arremessados a uma distância ilimitada. Dessas considerações, então, fica claro que a Terra não se move e não jaz em outro lugar que não o centro.”

O argumento dos tiros para o alto e sua solução segundo o *impetus*

“Porém a última aparência que Aristóteles nota⁽¹⁾ é mais demonstrativa na questão em causa. Essa é que uma flecha projetada por um arco diretamente para cima cai novamente no mesmo ponto da Terra da qual foi projetada. Isso não se daria caso a Terra fosse movida com tal velocidade. Em vez disso, antes que a flecha caísse, a parte da Terra a partir da qual a flecha foi projetada estaria a uma légua de distância. Porém os defensores [do movimento da Terra] responderiam que isso acontece porque o ar, movido juntamente com a Terra, carrega a flecha, embora a flecha nos pareça mover-se em um movimento em linha reta simplesmente porque ela está sendo carregada junto conosco. Portanto, nós não percebemos aquele movimento pelo qual ela é carregada com o ar. Porém essa defesa não é suficiente, pois o *impetus* violento da flecha na subida iria resistir ao movimento lateral do ar, de maneira que ela não seria movida tanto quanto o ar. Isto é semelhante à situação em que o ar é movido por um vento em altitude. Pois então uma flecha projetada para cima não é movida lateralmente tanto quanto o vento se move, embora ela se mova um pouco....”

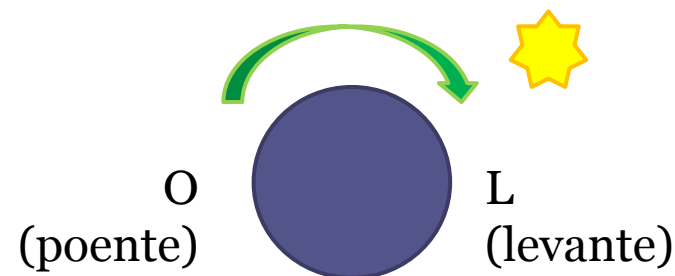
[John Buridan, *Questões sobre os quatro livros dos céus e do mundo de Aristóteles*, Livro II, Questão 22, § 9, trad. do latim por Clagett.]

(1) Aristóteles, *loc.cit.*, slide anterior.

Alguns argumentos contra o movimento diurno da Terra

- **Argumento dos tiros para leste e para oeste** (Exposto por Galileu, *Diálogo*, 2a. Jornada, p. 207; e por Tycho Brahe, *Epístolas astronômicas*) — Os tiros disparados para oeste teriam alcance sistematicamente maior do que os tiros para leste.
- **Argumento dos tiros horizontais** (Exposto por Galileu, *Diálogo*, 2a. Jornada, p. 208; e por Tycho Brahe, *op. cit.*) — Os tiros a oriente resultariam altos e os a ocidente baixos, pois o horizonte abaixa-se na direção do nascente e levanta-se na direção do poente.
- **Argumento dos tiros para norte e para sul** (Exposto por Galileu, *Diálogo*, 2a. Jornada, p. 208; e por Tycho Brahe, *op. cit.*) — Os tiros disparados para o norte ou para o sul se desviariam em direção ao poente.

(*) O movimento diurno se dá no sentido horário, de oeste para leste, como indicado:



Alguns argumentos contra o movimento diurno da Terra

- **Argumento da extrusão ou argumento centrífugo** (Apresentado por Copérnico, *Sobre as revoluções*, Livro I, Cap. VII, p. 38; e por Galileu, *Diálogo*, 2a. Jornada, p. 213) —
- **(P1)**: Se a Terra tivesse um movimento de rotação, sua superfície deveria ter uma elevada velocidade linear (em notação e unidades contemporâneas: $v = \text{diâmetro da circunferência terrestre} / \text{tempo equivalente a 1 dia} = 38500 \text{ km} / 24 \text{ h} / 1600 \text{ km/h} = 440 \text{ m/s}$).
- **(P1→P2)**: Porém, se a Terra girasse a grande velocidade, os corpos pesados (pessoas, animais, casas) deveriam ser expelidos para os céus, e a própria Terra sofreria uma tendência a desagregação e dispersão das suas partes constituintes.
- **(¬P2)**: Ora, não observamos essa extrusão centrífuga.
- **(Conclusão) (¬P1)**: Logo, a Terra não possui um movimento de rotação.⁽¹⁾

(1) Em Ptolomeu (*Almagesto*, I.7, H23-H24) existe um argumento que gerou controvérsia entre os comentadores, que discordam sobre se ali existe uma formulação do argumento da extrusão: “Se a Terra tivesse um movimento em comum com os outros objetos graves, é óbvio que ela seria carregada para baixo mais rapidamente do que todos eles, devido ao seu tamanho muito maior: as coisas vivas e os objetos graves individuais seriam deixados para trás, flutuando no ar, e a própria Terra teria caído rapidamente dos céus. Mas é totalmente ridículo sequer pensar em tais coisas.” Aqui, no entanto, a “extrusão” (se é que se pode chamá-la assim) não é devida à rotação da Terra.

Seção II

A construção galileana

A decorative graphic element consisting of several horizontal lines of varying lengths and colors (red, white, and light red) extending from the right side of the slide.

Observações sobre a terminologia galileana

- Os termos “*impeto*” e “*momento*” possuem significados um tanto ambíguos em Galileu.
- Mas é certo que “*impeto*” (em Galileu) é um conceito diferente do *impetus* (medieval)!
- “Momento” em *As mecânicas* de Galileu – A propensão de ir para baixo, causada pela gravidade do corpo e pela posição relativa (p. ex. numa balança)
- “*Momento del descendere*” - Tendência ao movimento para baixo
- “*Momentum velocitatis*” nas *Duas novas ciências* – Grau de velocidade final adquirido OU grau de velocidade instantânea

Observações sobre a terminologia galileana

- “*Impeto*” em *As mecânicas* – o efeito dinâmico do movimento, o impulso dado ao corpo pela sua gravidade
- “*Impeto*” no *Diálogo* – Grau de velocidade adquirido pelo corpo (pp. 104 [48], 108 [52])
- “*Impeto*” - Uma qualidade possuída por um corpo em movimento e que lhe confere a propriedade de conservar o movimento ou de comunicar o movimento a outro (Mariconda, nota 28 à 1^a. Jornada, p. 576)

Gravidade dos corpos segundo Galileu

- Para Galileu, todos os corpos são graves; não existem corpos intrinsecamente “leves”. Pode-se pensar, no máximo, em uma “leveza” *relativa*, entendida como razão entre as gravidades específicas de diferentes corpos.
- “Se é perguntado se os elementos são, de forma simples e absoluta, graves, respondo que não somente a água ou a terra, mas também o fogo, e mesmo aqueles que são mais leves do que fogo, possuem gravidade, e, finalmente, todos aqueles que possuem quantidade de substância e matéria.”
- [“Quod si... per se simpliciter et absolute... quaeratur utrum elementa gravi sint, respondemus, nedum aquam aut terram aut aerem, verum etiam et ignem, et si quid igne sit levius, gravitate habere et demum omnia quae cum substantia quantitatem et materiam habeant coniunctam”] (Galileu, *De Motu*, p. 289, apud Koyré, *Estudos galilaicos*, ed. port. p. 89)
- “Corpo nenhum é desprovido de gravidade, contra a opinião de Aristóteles.”
- [“Gravitate corpus nullum expers esse, contra Aristotelis opinionem”] (*id.*, *ibid.*)

Elementos do sistema da física galileana

- O papel da resistência do meio no movimento
- Para Aristóteles (colocando aqui em notação contemporânea), o conceito de movimento opera como $V \propto F/R$ (onde V é a velocidade, F a força e R a resistência), o que é compatível com sua rejeição ao vácuo (no qual se teria $R=0$).
- Para Filopono e Galileu, o conceito opera como $V = F/R$, o que é compatível com o movimento no vácuo.
- (Essas expressões podem ser reescritas na notação das razões e proporções, mais adequada à época.)
- Passa-se da impossibilidade do movimento no vácuo para o movimento no vácuo visto como o *caso mais simples*, com o meio apenas acrescentando complicações adicionais.

Elementos do sistema da física galileana

- A história do vazio e do movimento no vazio
- Teorias antiaristotélicas favoráveis ao vazio: Filopono, Hasdai Crescas, Pico della Mirandola, Francesco Patrizi, Bernardino Telesio, Giordano Bruno...
- A questão da *diferença* (Galileu) ou da *razão* entre os pesos específicos do corpo e do meio
- Relação com todo o debate histórico milenar sobre o vazio (em seus aspectos ontológicos, lógicos, epistemológicos).

Elementos do sistema da física galileana

Três princípios centrais em Galileu:

- Relatividade do movimento⁽¹⁾
- Composição de movimentos⁽²⁾
- Conservação do movimento

(1) Ver Copérnico, *De Revolutionibus*, I, 5, onde há um princípio de relatividade do movimento, porém em um contexto dinâmico ainda indefinido, no sentido de carecer de uma teoria sistemática e coerente. Cf. slides anteriores, *Revolução Astronômica – II*.

(2) Teses de relatividade e composição de movimentos já se encontram em Buridan (*Questões sobre os quatro livros do céu e do mundo de Aristóteles*, Livro II, Questão 22, §2) – mas Buridan finalmente não aceita a mobilidade da Terra – e em Oresme (*Sobre o livro dos céus e do mundo de Aristóteles*, Livro II, Cap. 25, §3) – mas ao final Oresme também se apega à imobilidade da Terra.

O argumento da Torre e sua resposta por Galileu - O argumento do navio

“**Salviati** – Portanto, um navio que navegue na calmaria do mar é um daqueles móveis que transitam sobre uma daquelas superfícies que não são declives nem aclives,⁽¹⁾ e por isso está em condição, quando lhe forem removidos todos os obstáculos acidentais e externos, de mover-se contínua e uniformemente com o impulso que lhe foi dado. [...] E aquela pedra que está no topo do mastro não se move, levada pelo navio, também ela pela circunferência de um círculo em torno do centro e, por consequência, com um movimento indelével nela, removidos os impedimentos externos? E esse movimento não é tão veloz quanto aquele do navio? [...]

(Continua)

(1) Ver *Diálogo*, I, [53] e também II, [171-174]. Cf. slides anteriores, *Galileu Galilei – Parte I*, seção “A ciência do movimento local de Galileu”.

O argumento da Torre e sua resposta por Galileu - O argumento do navio

(Continuação)

“**Simplicio** – Vós entendeis por última conclusão que, movendo-se aquela pedra com um movimento que lhe foi indelevelmente impresso, não deixa o navio, mas antes o segue, e, por último, cai no mesmo lugar aonde cai quando o navio está parado;⁽²⁾ e isso eu também afirmo que aconteceria, quando não existissem impedimentos externos... [1 – resistência do ar; 2 – o movimento de queda seria impedimento ao movimento progressivo].”

(Continua)

(2) Sobre a “experiência suficiente para mostrar a nulidade de todas as [experiências] produzidas contra o movimento da Terra” – i.e. a observação de uma infinidade de coisas que acontecem dentro do navio normalmente, como se este estivesse parado – cf. *Diálogo*, II, [212-214].

O argumento da Torre e sua resposta por Galileu - O argumento do navio

(Continuação)

“**Salviati** – Quanto ao impedimento do ar, eu não o nego; mas em uma pedra pesada é pequeníssimo... Sei que vós me concedereis que, quando o ar se movesse com a mesma velocidade do navio e da pedra, o impedimento seria absolutamente nulo. Quanto ao outro... **é evidente que estes dois [movimentos], ou seja, o circular em torno do centro e o reto em direção ao centro, não são contrários nem destrutivos entre si, nem incompatíveis...** Para o movimento que não se aproxima nem se afasta do centro, o móvel não tem oposição, nem propensão, nem conseqüentemente causa que lhe diminua a faculdade que lhe foi impressa: e posto que a causa motriz não é uma só, que possa, através da nova operação, enfraquecer, mas são duas distintas entre si, das quais a gravidade serve somente para puxar o móvel para o centro e a virtude impressa para levá-lo em torno do centro, não fica ocasião alguma de impedimento. [...]”

– Galileu, *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo*, 2ª. Jornada, [174-175], pp. 229-231 trad. bras.

Composição de movimentos e imperceptibilidade do movimento comum

“**Sagredo** – Seja-me permitido saber de vós, Sr. Salviati, se jamais havíeis pensado qual se poderia acreditar ser a linha descrita pelo móvel pesado que cai da torre para baixo. [...]

Salviati – Não tenho qualquer dúvida que, se outros tivessem certeza acerca da natureza do movimento com o qual o grave desce conduzindo-se ao centro do globo terrestre, **misturando-o depois com o movimento** circular comum da rotação diurna, encontrar-se-ia precisamente que espécie de linha é aquela que é descrita pelo centro de gravidade do móvel na composição desses dois movimentos. [...]

Sagredo – Mas como o assegura a experiência, se jamais vemos outro movimento que o composto dos dois, circular e para baixo?”

(Continua)

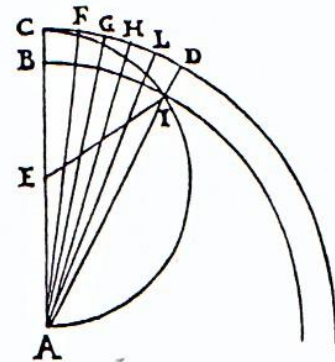
Composição de movimentos e imperceptibilidade do movimento comum

(Continuação)

“**Salviati** – Ao contrário, Sr. Sagredo, não vemos outra coisa que o movimento simples para baixo, **posto que o outro circular, comum à Terra, à torre e a nós, permanece imperceptível e como que nulo, e somente podemos notar aquele da pedra, do qual não participamos.** [...]”

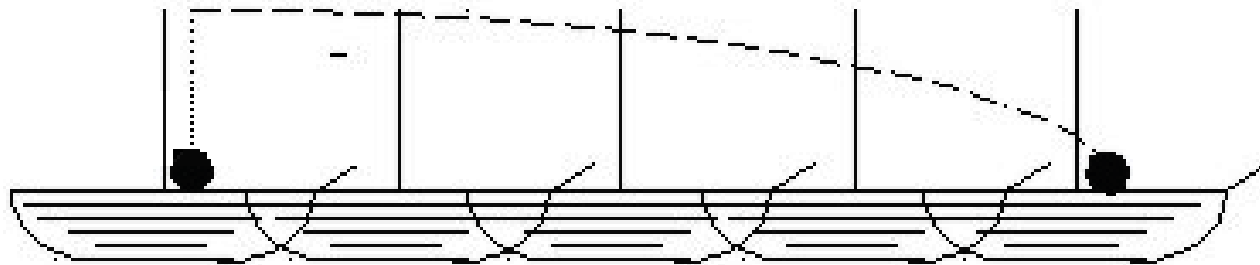
É necessário que a linha do seu movimento composto seja tal que vai sempre com maior proporção afastando-se do alto da torre, ou, melhor dizendo, da circunferência do círculo descrito pelo cimo da torre pela rotação da Terra... **Descrevo o semicírculo CIA**, pelo qual afirmo agora que com muita probabilidade pode acreditar-se que uma pedra, caindo da sumidade da torre C, venha movendo-se com o movimento composto pelo comum circular e pelo seu próprio retilíneo.” **[Para Galileu, a trajetória seria um arco de circunferência, em vez de uma parábola.]**

– Galileu, *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo*, 2^a. Jornada, [188-189, 191], pp. 244, 246 trad. bras.

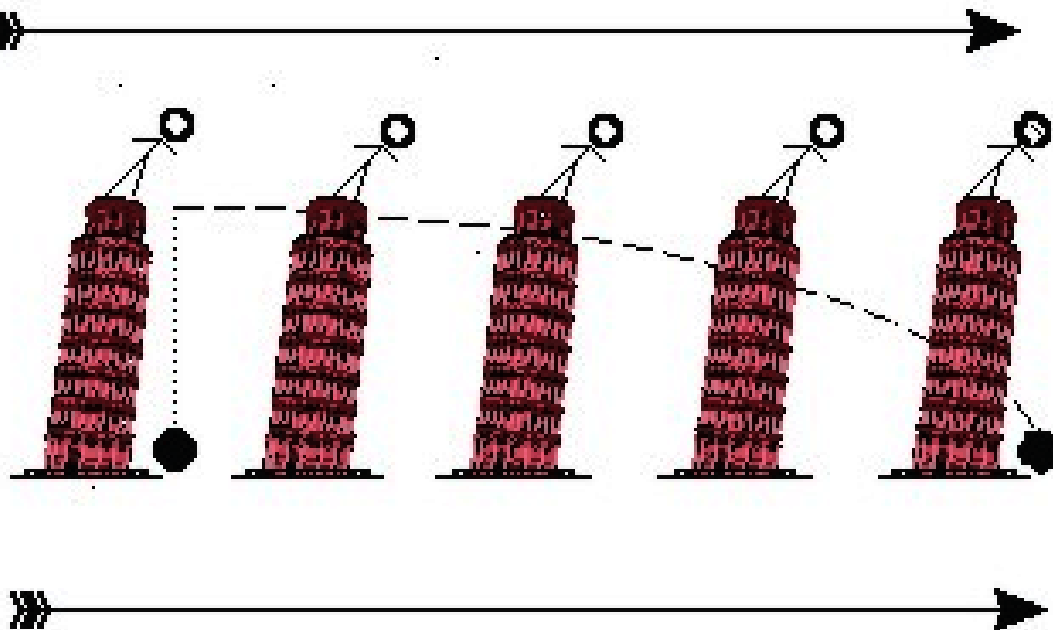


Composição de movimentos e imperceptibilidade do movimento comum

Caso do navio



Caso da torre



O argumento da extrusão e sua resposta por Galileu

A discussão feita por Galileu no *Diálogo* é muito extensa ([214-244]) e a solução dada por ele ao problema é cercada de controvérsias entre os comentadores. Em particular, ele não emprega a sua “inércia circular”.

“De modo que aqui entram em consideração dois movimentos: um da projeção, que começa no ponto de contato e segue pela tangente; e o outro da inclinação para baixo, que começa no projétil e vai pela secante para o centro: ora, para querer que a projeção continue, é necessário que o ímpeto pela tangente prevaleça à inclinação pela secante. [...]

Não é suficiente... que o movimento pela tangente, que é aquele da rotação diurna, seja simplesmente mais veloz que o movimento pela secante, que é aquele da pena para baixo; mas é necessário que aquele seja tanto mais veloz, que o tempo que é suficiente para conduzir a pena, por exemplo, mil braças pela tangente, seja pouco para movê-la um dedo somente para baixo pela secante: o que vos afirmo que jamais acontecerá, por mais veloz que se faça aquele movimento, e lento este. [...]

Do centro do círculo pode ser traçada uma linha reta até a tangente, que a corte de modo que a parte da tangente entre o contato e a secante seja um, dois e três milhões de vezes maior do que aquela parte da secante que fica entre a tangente e a circunferência; e à medida que a secante aproxima-se mais do contato, essa proporção aumenta ao infinito; donde não se deve temer que, por veloz que seja a rotação e lento o movimento para baixo, a pena, ou outra matéria mais leve, possa começar a levantar-se, porque a inclinação para baixo supera sempre a velocidade de projeção. [...]

(*Diálogo*, 2^a. Jornada, [222, 223, 224], pp. 278-279 trad. bras.)