

# 1

## CAPÍTULO

### INTRODUÇÃO

O objetivo deste livro é mostrar como os conceitos e teorias evoluíram na Física, partindo de forma empírica (experimental) para depois realizar uma síntese que, posteriormente poderá evoluir para previsões de novos conceitos. Antes de abordar essa evolução, faremos um breve histórico de como a Física teve seu início, ainda quando era Filosofia.

O mais significativo, do ponto de vista intelectual, foi o despertar da Grécia. Devemos à Grécia Antiga um legado cultural para a civilização ocidental, que originou a ciência como a compreendemos hoje. A ciência se separou da religião; a Astronomia marginalizou a Astrologia; o domínio tornou-se antes da razão que da intuição; as explicações sobre o funcionamento do mundo passaram a ser apoiadas em evidências, não mais na religião, na superstição ou em contos de fadas; introduziu-se a prova na matemática; os teoremas substituíram o procedimento habitual; as regras e as leis começaram a ser derivadas do estudo dos fenômenos naturais.

O teorema de Pitágoras leva seu nome pois ele foi o primeiro a prová-lo. Os gregos continuavam acreditando em deuses, mas, a partir de então, o comportamento divino passou a estar sujeito aos limites da razão. Pitágoras (287 a.C.-212 a.C.) foi além e declarou que o mundo se comportaria, fatalmente, segundo um modelo matemático. Ele foi o primeiro a afirmá-lo no século VI a.C., e nós ainda cremos em sua afirmação. Pitágoras pôde ter instituído a visão matemática do mundo, mas a visão científica grega foi estabelecida pelo filósofo Aristóteles. Esses dois pensadores foram considerados filósofos em sua época. A ciência era parte da Filosofia, que em grego antigo significa “amor à sabedoria”. Posteriormente a ciência veio a ser conhecida como Filosofia da natureza.

Pitágoras é considerado o pioneiro da Matemática por sua grande e valiosa contribuição a essa ciência (STRATHERN). A própria palavra matemática, usada pela primeira vez por ele, veio do grego *mathema*, que significa “aquilo que se aprende”, ou ciência. Foi somente no milênio seguinte que as

palavras “filosofia”, “matemática” e “ciência” desenvolveram gradualmente os significados independentes de que hoje dispõem.

A primeira síntese, tomando as teorias de Copérnico, Kepler e Galileu, desenvolveu o que é conhecido hoje como a mecânica clássica, com as leis devidas a Newton, incluindo a lei da gravitação. A segunda síntese, tomando as experimentações e leis de Gauss, Coulomb, Ampère e Faraday, desenvolveu as equações fundamentais de Maxwell (em forma diferencial e integral), prevendo a existência das ondas eletromagnéticas (confirmada por Hertz) e considerando a luz como onda eletromagnética.<sup>1</sup>

A terceira síntese, devida a Albert Einstein, tomou a mecânica clássica, as equações de Maxwell e a experiência de Michelson-Morley, e desenvolveu a teoria da relatividade (especial e geral), proporcionando uma nova visão do Universo com espaço curvo (tetradimensional), curvatura da luz (sob a influência de um campo gravitacional), buracos negros, desvio das raias espectrais e desvio das órbitas planetárias (p. ex., a de Mercúrio). Einstein também promoveu o pontapé inicial da mecânica quântica, vislumbrada inicialmente por Max Planck (com a quantização da energia), com a explicação do efeito fotoelétrico e a conclusão da natureza dual da luz (ondulatória e corpuscular), seguindo os passos de Niels Bohr (teoria das órbitas eletrônicas dos átomos).

Naturalmente, foram citados os mais conhecidos, mas não podemos esquecer a contribuição de muitos outros.

## 1.1 CINEMÁTICA E DINÂMICA

Aristóteles (384-322 a. C.) descreveu que um corpo pesado cai mais rapidamente que um leve. Contudo, Galileu (1564-1642, considerado o fundador da Física moderna) determinou experimentalmente que as coisas não eram bem assim. Usando um relógio de água, examinou o movimento de corpos esféricos percorrendo vagorosamente um plano inclinado e obteve que, independentemente do peso, quando o corpo está sujeito apenas à gravitação, a relação entre a velocidade e o tempo é sempre constante e igual à aceleração:  $a = \frac{v}{t}$ , e a distância percorrida será:  $s = at^2/2$ . Então se conclui que a aceleração da gravidade é a mesma para qualquer peso, desprezando-se a resistência do ar.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Em 1865, Maxwell concluiu teoricamente a existência das ondas eletromagnéticas, e afirmou que a luz deveria ser uma onda eletromagnética. Essa conclusão era muito arrojada na época. Suas ideias custaram a ser aceitas, mesmo por grandes físicos. Assim, em 1867, a Academia de Ciências de Berlim ofereceu um prêmio a quem conseguisse demonstrar experimentalmente a existência das ondas eletromagnéticas. Em 1879, o físico alemão Heinrich Hertz conseguiu prová-lo com seu oscilador. Essas ondas descobertas por Hertz se tornariam, futuramente, meios de comunicação, dando origem ao telégrafo, rádio, televisão etc. Olivier Heaviside, matemático e físico inglês, traduziu a teoria eletromagnética de Maxwell em termos vetoriais (LAROUSSE).

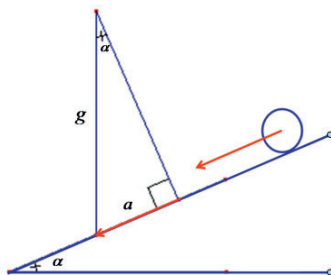
<sup>2</sup> Todos sabem que o primeiro homem a pisar na Lua foi o astronauta Neil Alden Armstrong, através da Nave norte-americana Apollo 11, em 21 de julho de 1969. Mas quem lembra que o astronauta David R. Scott, da Apollo 15, fez a seguinte experiência, transmitida ao vivo pela televisão: deixou cair, de uma determinada altura, uma pena e um martelo, lado a lado, na superfície da Lua, onde não existe ar?, corroborando o que Galileu dissera – se uma pena e um pedaço de chumbo fossem deixados cair no vácuo, chegariam ao chão ao mesmo tempo, pois suas acelerações seriam iguais –, o Coronel Scott afirmou: “Isso prova que o Sr. Galileu estava certo”.

No entanto, tudo o que apresentamos ainda é parte da cinemática, isto é, a descrição do movimento dos corpos. Não se levou em conta a relação entre a força (no caso, o peso) que provoca o movimento e a aceleração a que o corpo fica sujeito (o objetivo da dinâmica). Veremos isso no Capítulo 4, sobre as leis de Newton. Para maiores detalhes a respeito da aceleração da gravidade, ver Anexo 2, intitulado “Como Galileu descobriu a aceleração da gravidade”.

A importância histórica de Galileu é enorme. Além de suas descobertas em Física e Astronomia, ele abalou o prestígio do aristotelismo, e também estabeleceu o experimento e a formulação matemática do resultado da experiência como fundamento das Ciências Exatas. Em 1633, foi condenado à prisão domiciliar<sup>3</sup> e proibido de publicar livros. Conta a história que ele teria murmurado: “*Eppur si muove*” (no entanto se move). Em 12 de setembro de 1982, ao visitar a Universidade de Pádua, o Papa João Paulo II retirou as acusações de heresia feitas pela Inquisição e, em novembro de 1992, o reabilitou definitivamente, reconhecendo Galileu como um físico genial, apesar dos 360 anos de atraso (LAROUSSE).

### 1.1.1 Exemplo ilustrativo

Solta-se uma bola sobre um plano inclinado e esta se põe em movimento para baixo, necessitando de  $4\text{seg}$  para percorrer a distância de  $100\text{cm}$ . Qual é a sua aceleração em  $\text{cm}/\text{seg}^2$ ? Quantos  $\text{cm}$  ela teria caído, verticalmente, no mesmo tempo?



Solução:

Distância percorrida:

$$x = \frac{1}{2}at^2 \qquad x = 100\text{cm}$$

Tempo de percurso:  $t = 4\text{seg}$

Explicitando a aceleração:

<sup>3</sup> Por ter defendido o heliocentrismo de Copérnico, isto é, que a Terra se move em torno do Sol.

$$a = \frac{2x}{t^2} = \frac{2 \times 100}{16} \quad \therefore a = 12,5 \text{ cm/seg}^2$$

Utilizando a mesma fórmula e considerando a aceleração  $a$  como a aceleração da gravidade:  
 $a = g = 981 \text{ cm/seg}^2$  (1)

Obtemos:  $x = \frac{1}{2}gt^2$ .

Essa será a distância percorrida na vertical durante o mesmo intervalo de tempo  $t = 4 \text{ seg}$ .

$$\therefore x = \frac{1}{2}981 \times 16 = 7848 \text{ cm} = 78,48 \text{ m}$$

Qual será a inclinação  $\alpha$  do plano inclinado para obter a aceleração  $a = 12,5 \text{ cm/seg}^2$  após percorrer a distância  $x = 100 \text{ cm}$ ?

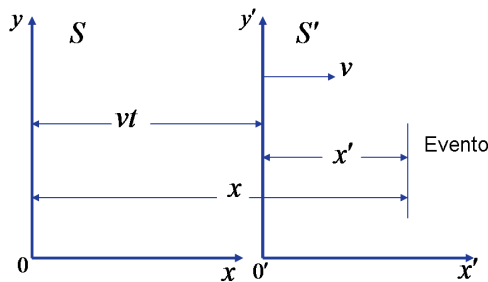
Por trigonometria temos:<sup>4</sup>

$$\text{sen } \alpha = \frac{\text{cateto oposto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{a}{g} = \frac{12,5}{981} = 0,012742$$

Pela tabela de funções trigonométricas:  $\alpha = 0^\circ 43' 47''$ .

Portanto, a inclinação é menor do que  $1^\circ$ .

## 1.2 EQUAÇÕES DE TRANSFORMAÇÃO DE GALILEU



<sup>4</sup> O ângulo formado pela perpendicular ao plano inclinado e a vertical tem seus lados perpendiculares ao ângulo formado pelo plano inclinado com a horizontal, logo, são iguais.

O referencial inercial  $S'$  move-se com velocidade  $v$  em relação ao referencial (sistema de referência)  $S$ , no sentido positivo do eixo horizontal  $(x, x')$  comum aos dois. Um observador em  $S$  registra as coordenadas espaço-tempo  $x, y, z, t$  para um evento, e outro observador, em  $S'$ , registra as coordenadas  $x', y', z', t'$  para o mesmo evento.

Referenciais com um eixo horizontal comum  $(x, x')$ :

O referencial  $S'$  se afasta de  $S$  com velocidade  $v$ .

As coordenadas  $y$  e  $z$ , perpendiculares ao movimento, não são afetadas, isto é,  $y = y'$  e  $z = z'$ .

No instante inicial  $t = t' = 0$ , quando a origem dos dois sistemas coincide.

O tempo é considerado absoluto e, portanto, comum aos dois sistemas.

Teremos então as equações de transformação de Galileu:

$$x' = x - vt$$

$$t' = t$$

Veremos, posteriormente, que estas equações somente são válidas para baixas velocidades, quando  $v$  é muito menor que  $c$ ,  $v \ll c$ , sendo  $c$  a velocidade da luz no vácuo (ver Relatividade do tempo, Seção 7.2, e Relatividade do comprimento, Seção 7.3).

Na mecânica clássica, a interação das partículas materiais é feita pela energia potencial de interação, função das coordenadas das partículas (ver Seção 4.8).

Derivando as equações anteriores em relação a  $t$  ou  $t'$ , tem-se o mesmo, pois  $t = t'$ :

$$v'_{x'} = v_x - v \quad v'_{y'} = v_y \quad v'_{z'} = v_z$$

Sendo:  $v_x = dx/dt$        $v'_{x'} = dx'/dt'$       etc. (1)

As equações em (1) fornecem a regra galileana para a comparação das velocidades de um corpo medidas por dois observadores em movimento relativo de translação.

