

INTRODUÇÃO

Na elaboração deste trabalho existe a intenção de investigar para descobrir qual o desenvolvimento que tiveram as três leis do movimento até chegarem aos nossos dias como três leis com que nos regemos no nosso mundo.

Assim o objectivo, com este trabalho é o de compreender quem e como formularam estas leis, quais as suas dificuldades, e as vantagens que tiveram para a nossa sociedade.

A partir desta questão, reconciliando a teoria das aulas e a pesquisa fora destas, desenvolve-se o presente estudo, que consiste na pesquisa sobre as vidas de Galileu e Newton e o seu contributo para a formulação das leis do movimento.

Na realização deste trabalho é feito em primeiro lugar, um relato da vida de Galileu Galilei, e o seu contributo, fazendo depois outra pesquisa nas mesmas condições para Isaac Newton. É de se salientar que neste trabalho existiu o objectivo de tentar relacionar ao máximo a vida e trabalho destes dois físicos, para a causa em estudo, as três leis de Newton, que compreendem o movimento.

GALILEU GALILEI

No final do século XVI e no início do século XVII, Galileu Galilei (fig. 1), físico italiano, publicou várias obras que foram um importante contributo para a construção da Física, tal como a hoje entendemos. Foi também o primeiro a estudar cientificamente os movimentos, recorrendo até então nunca utilizados: Galileu definiu variáveis, que podiam ser medidas; formulou hipóteses, que podiam ser submetidas a testes experimentais; realizou experiências com objectos “reais” e discutiu o que aconteceria em condições “ideais”; obteve relações matemáticas entre as variáveis.



Fig. 1 – O físico italiano Galileu Galilei.

Nascido em Pisa, a 15 de Fevereiro de 1564, Galileu para Florença com apenas dez anos, a fim de estudar música, literatura e desenho. Seus pais eram pobres, o que lhe marcou para o resto da sua vida, tendo, decerto, muito apego pelo dinheiro. Em 1580 voltou outra vez para Pisa, começando por estudar para médico na Universidade pisana, sendo depois atraído pela vocação das Matemáticas e a Física.

Com apenas 17 anos, fez a sua primeira descoberta – a lei do pêndulo. Estava na

Catedral de Pisa, vendo que para acender lampadário o puxavam para o lado. Quando o largavam, depois de acendido, o lampadário oscilava como um pêndulo com movimentos cada vez menores, mas com a mesma duração. Sem o bendito cronómetro serviu-se do seu pulso para verificar a igual duração. Essa descoberta foi utilizada 60 anos depois, na produção do primeiro relógio de pêndulos. Em 1586 realizou bastantes descobertas interessantes de hidrostática, que lhe deram celebridade sendo pouco depois (em 1589) nomeado para professor de Matemáticas na Universidade de Pisa. Com menos de 25 anos, o seu vencimento tanto ou pouco chegava a uma modesta quantia.

Mas continuando as suas observações em Pisa, Galileu descobriu que a lei formulada por Ptolomeu, de que um objecto maior cai com maior velocidade do que um objecto menor, mesmo que fosse feito da mesma matéria, estava errada tendo-a demonstrada na Catedral de Pisa, sendo um enorme cilindro, com dois pesos diferentes, deixando-os cair ao mesmo tempo, observava-se que também chegavam ao solo ao mesmo tempo. Foi descoberta, então, a lei do movimento de queda livre. A esta demonstração quase não se ligou, mas Galileu não parou continuando as suas observações todas as leis com este texto explica: “Um espírito com o de Galileu devia de continuar a observar queda dos corpos até formular todas ou algumas das suas leis. Para essas observações serviu-se de uma tábua inclinada na qual havia aberto uma ranhura pela qual descia uma bola de bronze. Em certos sítios da ranhura, Galileu praticara aberturas pelas quais se podia deter a bola. O tempo gasto até chegar a estas aberturas era medido, à falta de um cronómetro, por meio de um relógio de água. Assim pode Galileu chegar à conclusão, em primeiro lugar, de que a velocidade de um corpo ao cair depende de tempo em que está a cair, isto é, de começo vai devagar, mas aumenta a



Fig. 2 – Galileu usando um plano inclinado para investigar as leis da queda livre.

velocidade por cada unidade de tempo; em segundo lugar, que os espaços percorridos ao cair são proporcionais aos quadrados dos períodos de tempo durante os quais o corpo esteve a cair. (...)” (Dr. António Salena, 1973, pág. 290). Como se pôde constatar, em 1590, Galileu poderia ter descoberto a lei gravitacional, através desta experiência em que usou um plano inclinado (fig. 2) descobrindo estes conhecimentos referidos no texto acima escrito, em vez de ter esta ideia brilhante, anos depois, Newton.

Em 1562, Galileu ascendeu ao posto de professor de Matemáticas na Universidade de Pádua, então o centro científico mais importante de Itália. Aí passou os anos mais felizes da sua vida, entre 1562 e 1610, dando apenas 60 aulas de meia hora por ano, tendo o resto do tempo totalmente livre para se dedicar aos estudos da Física (dinâmica e acústica). Em Pádua descobriu ou aperfeiçoou a luneta, pois o primeiro telescópio construído foi obra de uns fabricantes holandeses de lentes. Mas quando esses telescópios chegaram a Itália, já Galileu se esmerava na construção do seu, que era mais potente, e que viria a ser utilizado, de dia, no ganho de algum dinheiro com os visitantes, e de noite, com o estudo dos astros, fez descobertas impressionantes que iriam causar grande polémica.

A partir de 1610, Galileu travou uma “batalha” com a Igreja, a Justiça, os Filósofos, etc... ao escrever as “Cartas das Manchas Solares”, que era um livro baseado nas suas pesquisas, e que pela primeira vez apoiou publicamente o sistema de Copérnico. Apesar de todos os esforços feitos por Galileu para fazer com que a Igreja entendesse a sua posição, este não o conseguiu e como consequência, a Igreja ordenou a Galileu que não escrevesse nem falasse a favor de Copérnico, senão era preso.

No entanto, uns anos mais tarde, em 1633, Galileu tornou a escrever um livro que evidencia a sua posição a favor de Copérnico, e como tal teve que enfrentar a Inquisição. No final esta castigou Galileu com prisão perpétua.

Em Dezembro de 1633 a sua sentença foi mudada para a prisão domiciliária, e como tal, Galileu voltou para sua casa em Villa Arcetri, onde um ano mais tarde perdeu a visão. Contudo continuou ocupado e criativo.

Ocupou o lugar que lhe pertencia na História como um dos maiores cientistas de todos os tempos e matemático insigne, contribuinte da popularização do moderno espírito de pesquisa científica, contrariando o tradicionalismo da época. Muito lamentavelmente, o seu valor só foi reconhecido um século depois da sua morte. Morte essa que ocorreu enquanto trabalhava ainda com teorias sobre pêndulos e sobre o que acontecia no impacto de dois objectos em colisão, em Arcetri a 8 de Janeiro de 1642, coincidindo justamente com o ano de nascimento de mais um cientista célebre, e que concluiu o seu trabalho sobre as leis do movimento – Isaac Newton.

ISAAC NEWTON

Galileu havia já iniciado algumas leis do movimento que podiam ser diariamente comprovadas pela simples observação. Podia existir erro no que se pensava das próprias coisas, mas não havia que errar no que se pensava da maneira como elas agiam, como se comportavam. Podia ainda subsistir o receio de que os humanos nunca chegassem a penetrar a essência mesma das coisas até ao ponto de formarem delas ideias exactas. Mas do que não restava dúvida era de que o pensamento humano previa a velocidade do pêndulo e a aceleração de um corpo na queda, formulando as suas leis com rigorosa exactidão matemática.

Convinha conhecer, pois, estas leis dos fenómenos, e quantas mais melhor, porque a soma de todas elas podia ser a causa e até a essência mesma do universo. Eis, portanto, como o que começou por ser um problema metafísico do pensamento se transformou insensivelmente num esforço intensivo de investigação das leis físicas. Mas aqui, também, residia a explicação do facto de surgir a cada momento, sempre renovada, a pergunta original, a grande interrogação: Ajusta-se à realidade o que pensamos e conhecemos? Somos capazes de pensar algo exacto?

Mas, como a pergunta ficava sem resposta, recomeçava sempre com maior ardor a investigação das leis dos fenómenos naturais. Este duplo interrogatório, metafísico e físico, recrudescia quando Newton formulou um completo sistema



Fig. 3 – O físico inglês Isaac Newton.

do universo como mecanismo regido por fórmulas matemáticas. Isaac Newton nasceu em 1642, numa casa rústica da estrada Londres-Iorque. Filho póstumo e nascido antes do tempo normal, uma natureza delicada e sensível tornava-o tímido e, ao mesmo tempo, apaixonada pela investigação científica. A mãe de Newton casou em segundas núpcias e o rapaz foi educado pela avó. Na realidade faltou-lhe um lar que pudesse considerar como a sua casa até ser admitido em Cambridge como estudante.

As notas autógrafas de Newton, de quando era um simples estudante no Trinity College, revelam que já então começara a analisar as cores da luz por meio do prisma e que descobrira o método das fluxões para calcular áreas, análogo ao cálculo diferencial, simultaneamente descoberto por Leibniz.

Porém, cada época tem o seu problema obsessivo: naquele momento, o que preocupava a humanidade eram as leis do movimento. Galileu postulava que um corpo se moveria indefinidamente, com a velocidade uniforme e em linha recta, caso não interferissem outras forças que o perturbassem. Kepler, por seu turno, descobrira que as órbitas dos planetas eram elipses. Qual, portanto a razão porque, em vez de se moverem em linha recta, se deslocavam os planetas em órbitas elípticas? Foi a esta pergunta que Newton tentou responder e que o levou à descoberta da famosa lei da atracção universal.

A princípio, Newton não tentou generalizar esta lei a todos os corpos celestes

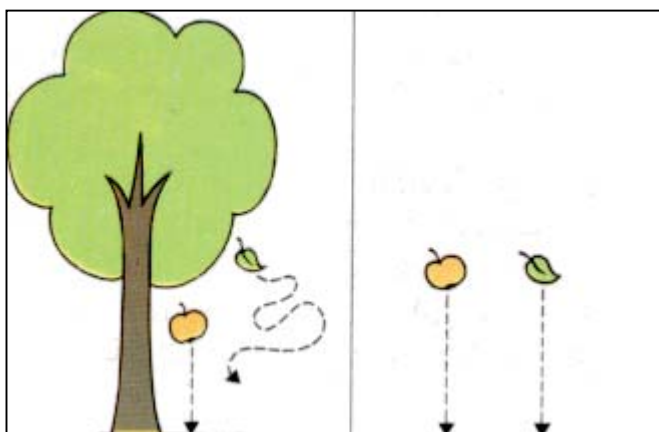


Fig. 4 – Em condições normais, uma folha cai mais lentamente que uma maçã. No vácuo, todos os corpos caem com a mesma velocidade.

ou terrestres e contentou-se com a verificação de que se adaptavam a ela os astros do sistema solar a que chamamos planetas. Mas depressa notou que não apenas os astros, mas todos os corpos, são atraídos uns pelos outros. Todos os objectos caíam – as maçãs do jardim caíam – e sempre com movimento uniforme acelerado. Todos os corpos terrestres, ao caírem no vácuo, o fazem também com movimento uniformemente acelerado. Se uns se atrasam mais dos que

outros ao cair, é só pela resistência que lhes opõe o ar (fig. 4).

Newton tentou verificar a lei da atracção universal aplicando-o ao caso da Lua. Esta deveria «cair» para a Terra, mas, estando mais afastada que os objectos do solo, devia cair com uma velocidade menor que os corpos que estão na superfície terrestre.

Mas a velocidade da queda da Lua para a Terra, ou aceleração, podia ser directamente determinada. Após algumas dúvidas (a princípio Newton não conhecia com exactidão a medida da Terra) pôde verificar que a lei da gravitação universal se comprovava no caso da Lua, isto é, que a aceleração da órbita da Lua era fixada pelo mesmo cálculo.

Newton, que, já referido anteriormente, era de temperamento sonhador e tímido, não publicou a sua descoberta senão muito tarde. Durante alguns anos ocupou-se do estudo da óptica no seu laboratório em Cambridge. Fora nomeado professor mas o cargo apenas o obrigava a dar uma lição por semana e a ouvir, durante duas horas semanais, consultas dos alunos. Apesar da sua precária saúde, trabalhava sem cessar e dormia pouco. Comia com grande irregularidade e mal saía do quarto, pelo qual passeava constantemente de um lado para o outro, em inquieta meditação. Absorvido pelos novos estudos da óptica, parecia ter esquecido já a lei da atracção universal quando, perante as divagações de um jovem investigador chamado Hooke, se sentiu estimulado para estudar de novo aquele problema. Embora sem prová-lo, Hooke afirmava que um corpo atraído por outro – como os planetas – percorria uma órbita elíptica desde que recebesse o impulso inicial. Newton, pelo contrário, pensava que essa interpretação da lei da atracção universal estava em flagrante desacordo com a realidade, porque, caso as coisas se passassem como Hooke julgava, as órbitas dos planetas deveriam ser espirais. É mesmo provável que esta dúvida fizesse o retardar a publicação da descoberta.

Mas para provar que Hooke não tinha razão e que a sua doutrina é que estava certa, Newton começou outra vez os cálculos e viu, com surpresa, que Hooke

acertava e que se adequavam à sua lei as órbitas dos planeta, sem dúvida elípticas. Já não havia pois, a menor possibilidade de erro: a lei da atracção universal estava confirmada pelos corpos terrestres e corpos celestes, os céus e a Terra obedeciam àquela simplíssima fórmula segundo a qual a aceleração, ou atracção seria igual a

$$\frac{\text{Massa} \times \text{massa}}{\text{distância}^2}$$

Apesar da alegria de tal certeza terá provocado em Newton, este demorou ainda alguns anos a comunicá-la ao público. Foi necessário que outro dos seus jovens admiradores, Halley, o obrigasse quase à força a escrever uma breve comunicação para a Royal Society, de Londres. Esta primeira comunicação de Newton intitulava-se *De Motu* ou *Do movimento*, e foi lida em 10 de Dezembro de 1684. O interesse que despertou foi tão grande que o autor não se pôde escusar a desenvolver o tema com o devido relevo e em 1687 publicou a sua obra

magna: *Philosophiae naturalis principia mathematica*.

Os *Principia* são um modelo de brevidade, precisão e lógica nas demonstrações. A obra, redigida em latim correctíssimo, apareceu num volume de 500 páginas, ilustradas com diagramas e gravuras em madeira. Os *Principia* dividem-se em três partes: a primeira trata do movimento no espaço livre de obstáculos; a segunda, dos problemas do movimento quando lhe é oposta resistência; finalmente, a terceira parte contém sugestões de carácter geral acerca da constituição da matéria e do Ser Supremo que preside ao universo. Foi então neste livro que Newton explanou as três leis que revolucionaram a compreensão do mundo físico: as famosas três leis de Newton para descrever o movimento. Entre elas, a terceira lei que

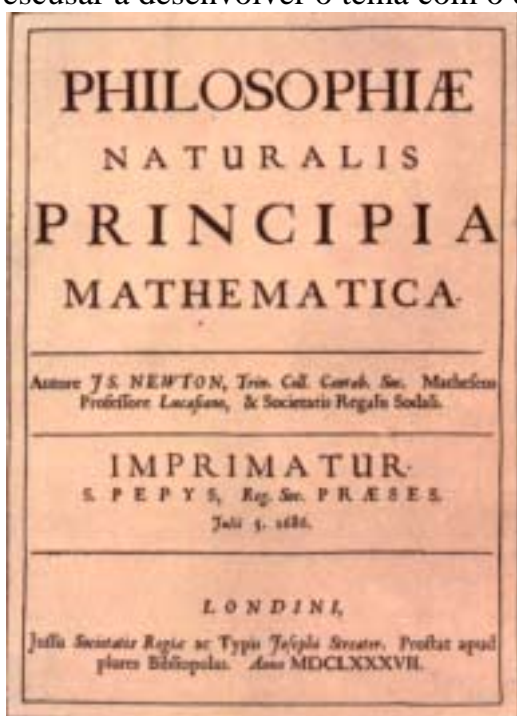


Fig. 5 – Frontispício dos *Principia*.

vários físicos e matemáticos, entre os quais, o próprio Newton, mostraram que numa colisão a grandeza linear do sistema é igual antes e depois da colisão.

O que tornava mais atractivo o sistema de Newton é que não excluía o Criador. O pensamento conhecia as leis da natureza, mas também reconhecera Deus. O facto universo ser um sistema regido por leis matemáticas era outra prova de uma inteligência ordenadora em toda a criação. Newton sustentou que a matéria em estado de difusão, isto é, em átomos isolados, por si mesma, sem a ajuda do plano nem do poder divino, de maneira nenhuma poderia ter formado corpos tão diferentes como o Sol, cheio de luz e fogo, e os planetas, escuros e

apagados. Estes tão pouco poderiam ter dado a si mesmo a força inicial que os abrigava a girar continuamente em torno do Sol.

Newton teve sempre a concepção do universo constituído por matéria sólida, compacto, inactivo, excepto pela força da gravitação, e foi a que se manteve até ao início do século XX. Hoje considera-se caducada: o espaço não é absoluto, entrámos na era da relatividade. Mas eis, segundo a própria definição nos *Principia*, o universo de Newton: «Existe um *absoluto-tempo*, composto de instantes, e um *absoluto-espaço*, composto de pontos; existe matéria dividida em partículas e cada uma delas persiste inalterável através do tempo e ocupa, em cada instante, um ponto do espaço. Cada partícula exerce uma força sobre as outras partículas, cujo efeito é a atracção. Cada partícula tem uma massa que está na proporção inversa da aceleração produzida nela por uma força. As leis físicas, como a lei da gravitação, podem ser formuladas como forças que exercem a sua acção de partícula para partícula.»

Podem parecer familiares e simples estas e outras novas ideias e concepções que Newton introduzia, mas eram novas e arriscadas para o seu tempo. Tal como caía a maçã, «caíam» a Lua e as estrelas, que estavam fora do raio da experimentação. Os organismos vivos, que se julgara terem por si mesmos direito

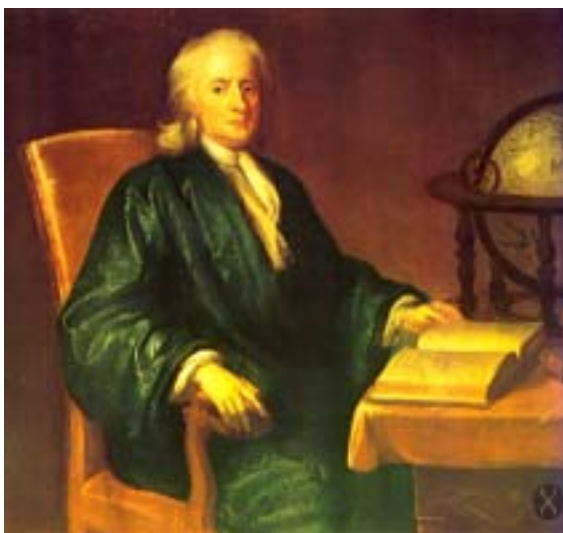


Fig. 6 – Newton já de certa idade, a viver confortavelmente.

a uma individual idiossincrasia, eram compostos de matéria subordinada a leis simples, uniformes e simultâneas em todo o universo. O argumento do drama cósmico não era a salvação do homem, mas sim, segundo a hipótese formulada por Newton, a acção e reacção das forças mecânicas.

Ao fim de contas, Newton utilizou estes princípios matemáticos em nome da filosofia, para que existisse um «método filosófico mais verdadeiro.»

É possível que nos últimos anos o mesmo Newton já desejasse algo «mais verdadeiro» que o seu sistema puramente matemático. A

Universidade de Cambridge enviara-o a Londres como seu representante no Parlamento e o Governo nomeara-o director da Casa da Moeda, com um vencimento anual considerável. Era também presidente da Royal Society, a corporação ou academia científica formada por Carlos II e que gozava já de extraordinário prestígio (fig. 6). Newton vivia numa confortável casa do bairro de Kensington, onde passava a maior parte do tempo lendo a bíblia. Morreu, de cálculos na bexiga, a 20 de Março de 1727, quarenta anos após a publicação dos *Principia*.

CONCLUSÃO

Desde o tempo dos Antigos Gregos se sabe que as pedras mais pesadas caem no ar mais depressa que as pedras mais leves. Só, porém, com os trabalhos do italiano Galileu Galilei, nos séculos XVI e XVII, se chegou à ideia simples, de que no vácuo, todas as pedras caem da mesma maneira.

Galileu mostrou mais correctamente que, se um corpo não é puxado ou impelido, nem é influenciado de qualquer maneira (ou, mais sinteticamente, se nenhuma força externa actua sobre ele), esse corpo move-se uniformemente, isto é, sempre com a mesma velocidade e em linha recta. Sendo assim, a velocidade não indica que forças externas estão ou não a actuar sobre o corpo. A conclusão de Galileu foi mais tarde formulada por Isaac Newton nos termos da lei da inércia. Tornou-se uma das primeiras coisas de física que costumamos decorar na escola.

Surgiu logo uma pergunta: Se a velocidade não é resultante de todas as forças externas actuantes sobre um corpo, que é então? A resposta chegou ainda por Galileu, e disse em *Duas Novas Ciências*: "... qualquer velocidade comunicada a um corpo em movimento será mantida enquanto as causas externas de aceleração ou retardamento estiverem ausentes, condição que só é encontrada em planos horizontais; se os planos forem inclinados para baixo, estará sempre uma causa de aceleração; e se inclinados para cima, um retardamento; disto se conclui que um movimento ao longo de um plano horizontal é perpétuo; pois se a velocidade for uniforme não poderá ser diminuída, e muito menos ser destruída."

Assim, com o mote dado por Galileu, Newton com as suas pesquisas e recolha de ideias com outros grandes físicos da altura, conseguiu formular, no seu livro *Principia*, as três leis do movimento, sobre as quais nos regemos até aos nossos dias:

1.ª lei (ou lei da inércia):

Um corpo continua no seu estado de repouso ou de movimento com velocidade constante, em linha recta, quando a soma das forças que nele actua é nula.

2.ª lei (ou lei fundamental)

A aceleração que um corpo adquire por acção de forças é directamente proporcional à intensidade da resultante dessas forças e tem a direcção e o sentido desta resultante.

3.ª lei (ou lei da acção-reacção):

Nas interacções, as forças actuam sempre aos pares, com igual intensidade mas sentido oposto, em corpos diferentes.

BIBLIOGRAFIA

BAPTISTA, Teresa Maria Ovídio; “*Ciência e Técnica*”. Círculo de Leitores, 1990.

FIOLHAIS, Carlos e outros; “*Física 11.º Ano*”. Didáctica Editora, 1997.

LOURENÇO, Maria da Graça e Virgília Tadeu; “*Física 11.º Ano*”. Porto Editora, 1995.

OLIVEIRA, Manuel Alves; “*Moderna Enciclopédia Universal*”. Círculo de Leitores, 1988.

RAMOS, Rui Pedro; “*De Ptolomeu a Galileu*”. 1995.

SALENA, Álvaro e outros; “*História do Mundo*”. Publicações Europa-América, 1973.

ÍNDICE

INTRODUÇÃO.....	2
GALILEU GALILEI.....	3
ISAAC NEWTON.....	6
CONCLUSÃO.....	10
BIBLIOGRAFIA.....	11
ÍNDICE.....	12