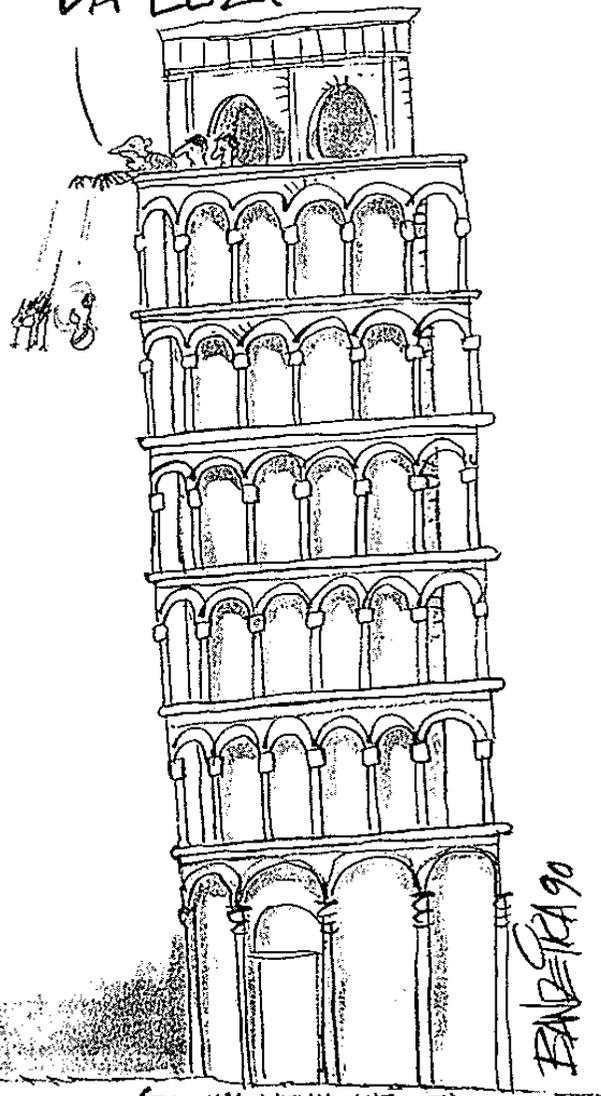


III CONCLUSÃO: O GATO CAI À VELOCIDADE DA LUZ.



(DE UMA VELHA ANEDOTA)

Este facto pode parecer bastante estranho e é de facto muito estranho. Se deixarmos cair um elefante e um coelho

do cimo da torre de Pisa (se é que conseguimos empurrar o elefante até lá cima) eles chegariam cá em baixo (a

uma cama de rede — não vamos deixar o pobre elefante nem o inocente coelho estatelarem-se no chão) ao mesmo tempo, para grande espanto do elefante, se acaso fosse possível desligar o efeito da resistência do ar. Ou, uma vez que um elefante é muito difícil de arranjar para experiências de mecânica, podemos lançar apenas uma galinha (uma galinha com penas, mas não vamos ter pena da galinha, pois se trata de uma experiência "científica"). Arrancamos uma pena à galinha e deixamos cair, sem termos pena, galinha e pena. Parece inacreditável, mas se se ignorar o efeito da resistência do ar, galinha e pena chegam ao mesmo tempo! O caso é semelhante à queda de uma chave isolada e de um molho de chaves, que o leitor pode muito bem tentar. A chave separada chegaria, no caso de existirem condições ideais, ao mesmo tempo que as outras chaves juntas. A pena separada chega aproximadamente ao mesmo tempo que as outras penas juntas, ligadas à galinha. A expressão "condições ideais" significa que se considera desligado o efeito da resistência do ar. No chamado "tubo de Newton" (um tubo de vidro onde se faz o vazio com o auxílio de uma bomba) pode-se deixar cair uma chave e uma pena e ver que chegam, chave e pena, exactamente ao mesmo tempo. Dever-se-ia antes chamar "tubo de Galileu" pois permite efectuar em condições ideais a experiência de Galileu em Pisa.

A Ciência tem o defeito de colocar imediatamente em linguagem matemática os factos observados, tirando-lhes o possível divertimento. Neste caso, os físicos dizem que o tempo de queda é determinado por uma grandeza chamada aceleração ou taxa de variação da velocidade. A aceleração é a mesma para todos os objectos que caem na Terra: tem o valor de $9,8 \text{ m/s}^2$. Todos os corpos deixados cair do cimo da torre de Pisa "entram" nos $9,8 \text{ m/s}^2$, isto é, em cada segundo a sua velocidade aumenta de $9,8 \text{ m/s}$. Ora, a aceleração, de acordo com a lei fundamental da mecânica, é o quociente entre peso e massa. Uma pedra 100 vezes maior tem uma massa 100 vezes maior do que uma outra pedra do mesmo tipo. Mas a força de atracção da Terra — o peso — é proporcional à massa. É também 100 vezes maior e portanto a razão entre peso e massa e a aceleração — é a mesma para as duas pedras.

O que acontece realmente quando há resistência do ar? Quem chega primeiro, a pedra grande ou a pedra pequena?

O elefante ou o coelho? A galinha sem penas ou a pena sem galinha? Já dissemos: a pedra grande chega antes da pequena. O elefante chega, de facto, antes do coelho. A galinha chega efectivamente antes da pena.

Antes de explicarmos a razão para isso, coloquemos a seguinte questão. Em que caso é maior a resistência do ar: no caso da pedra grande ou no caso da pedra pequena?

É maior para a pedra grande! Se o leitor deu a resposta errada não se preocupe porque não está sozinho. Mas veja: a força de resistência do ar — que é uma força para cima — é proporcional à secção. Uma pedra grande tem uma secção maior do que uma pedra pequena e a força de resistência do ar é maior para a pedra grande. Então, perguntará o leitor, se a força de resistência do ar é maior para a pedra grande, como é que esta chega primeiro ao chão?

A matemática ajuda a explicar o problema. Acontece que, conforme já foi dito, a grandeza que determina o tempo de queda é a aceleração, que é a razão entre a força e a massa. A força que actua sobre o corpo em queda no ar tem dois termos: um é o peso (que dividido pela massa dá o mesmo número para todos os corpos à superfície da Terra: $9,8 \text{ m/s}^2$); o outro é a força de resistência do ar, que varia proporcionalmente à secção transversa à direcção do movimento. É verdade que a secção de um corpo grande é maior do que a de um corpo pequeno mas a massa do primeiro é também maior (e muito maior!). Por exemplo, se a massa de um objecto homogéneo passar para o dobro, o volume passa para o dobro mas a secção não: não cresce tanto. Por exemplo, uma bola que tem o dobro do volume de outra tem uma secção apenas $\sqrt[3]{2}$ maior. A aceleração devida à resistência do ar (que tem o sinal contrário ao da aceleração da gravidade) é a razão entre a força de resistência e a massa, para o corpo maior, a força de resistência é maior, a massa é também maior, mas a massa cresce mais do que a força. A aceleração devida à resistência do ar é portanto menor para a pedra grande do que para a pedra pequena. A aceleração total da primeira é maior e esta chega primeiro ao chão. Este fenómeno tanto se dá para duas pedras como para um elefante e um coelho, ou uma galinha e uma pena. Pedras, elefantes e outra bicharada obedecem todos às leis da mecânica investigadas por Galileu no cimo (ou não!) da torre de Pisa.

2. O TIRO DO CAÇADOR

Consideremos um caçador que dispare uma bala contra um pássaro. A espingarda está apontada na horizontal. Ao mesmo tempo que carrega o gatilho para disparar a bala, o caçador deixa cair com a mesma mão uma outra bala. Suponhamos que o pássaro, felizmente para ele, escapou (a física não se destina a matar pobres aves indefesas) e que não há nas redondezas nenhum obstáculo ao caminho da bala. A bala disparada acaba por cair devido à força de gravidade que a atrai para a Terra (a bala está sujeita ao seu próprio peso). A bala que o caçador largou também cai: cai mesmo por baixo do nariz do caçador. Qual das balas chega primeiro ao chão, se se ignorar o efeito da resistência do ar? A bala que foi lançada da espingarda ou a bala que foi deixada simplesmente cair?

A intuição diz-nos que cai primeiro a bala que foi deixada cair, pois essa cai no chão ao fim de uma fracção de segundo. O caçador vê-a cair, mesmo debaixo do seu nariz, enquanto a outra pode andar quilómetros e quilómetros antes de cair. Ninguém a vê cair. No entanto, damos demasiada importância às coisas que se passam mesmo debaixo do nosso nariz. A verdade é que as duas balas chegam ao chão ao mesmo tempo! Temos portanto uma boa maneira de saber quando é que uma bala disparada cai (ignorando o efeito da resistência do ar), mesmo que ela caia muito longe do nosso nariz. Deixamos cair uma bala ao mesmo tempo que disparamos (é difícil sincronizar a largada das duas balas mas podemos ligar uma engenhoca qualquer ao gatilho) e quando ela nos cair aos pés sabemos que caiu também a outra, embora lá longe. Porquê? De onde nos vem essa certeza?

A grandeza que determina o tempo de queda das balas é, já o dissemos, a aceleração. E, neste caso, não há nenhuma aceleração horizontal, pois a aceleração é proporcional à força e não existe nenhuma força horizontal. O que distingue as duas balas são as condições iniciais, nomeadamente as suas velocidades iniciais. Uma tem velocidade inicial nula, enquanto a outra tem uma velocidade inicial segundo a horizontal. É esta velocidade inicial que origina a progressão da bala na horizontal; não existe qualquer força misteriosa que acompanhe o objecto, como pretendia Aristóteles na antiguidade. Houve evidentemente uma força anterior que fez

mover a bala, de início imóvel na câmara da espingarda. Mas isto é a "pré-história" do movimento em que estamos interessados. A nossa história só começa quando a bala sai; o que acontece antes não nos interessa. Não podemos querer explicar tudo o que se passa no mundo desde sempre. Ou melhor, podemos querer mas não adiantamos nada com isso. Assim como escolhemos um dado caçador e uma dada bala (os outros caçadores e as outras balas não nos interessam) não queremos saber do que se passou antes da bala sair, ou o que é que o caçador começou ao pequeno almoço ou quem era o pai do caçador. O que sabemos é que uma bala num certo instante sai do cano da espingarda com uma certa velocidade. Essa velocidade horizontal mantém-se, pois só se houvessem forças na horizontal é que ocorreriam mudanças de velocidade (a resistência do ar não é um factor considerado). A velocidade na vertical, por sua vez, vai aumentando, em virtude da força de atracção da Terra. A nossa história acaba quando a bala bate no chão, depois de ter descrito uma parábola. Se o tempo de queda é apenas determinado pela aceleração vertical, tanto faz que a bala saia com uma certa velocidade inicial na horizontal ou saia com velocidade inicial nula (se a velocidade inicial segundo a horizontal for maior, a bala vai mais longe mas demora o mesmo tempo a cair). Mas já faz diferença se houver velocidade inicial vertical: se o caçador disparar para cima a bala demora obviamente mais tempo a cair e se disparar para baixo demora menos.

Suponhamos agora que o caçador dispare a bala do cimo de um carro (tal como nos safaris em África) que vá a uma velocidade constante muito elevada. Suponhamos ainda que a bala aparece na boca da espingarda com uma velocidade que, em relação à Terra, é igual à velocidade do carro. O caçador vai pois a viajar com a bala, isto é, vai com a ponta do cano encostada à bala. Então, a bala que saiu do cano vai-lhe cair aos pés, tal como acontecia da outra vez à bala que partia do repouso. Do ponto de vista de um observador ao longe, a bala disparada percorreu uma parábola, mas para o caçador a bala não avançou! Tanto o caçador como o observador imóvel em Terra podem medir o tempo de queda da bala, obtendo o mesmo número. O tempo de queda de um objecto é o mesmo para todos.

OH, MELI DELUS! PERDI O MELI REFERENCIAL INERCIAL



Uma pergunta mais difícil: Se o nosso amigo caçador, outra vez parado, quiser obter o alcance máximo, com que ângulo deve fazer o tiro? Quem estudou mecânica responde logo que se trata de um ângulo de 45°. Mas o ângulo é na realidade inferior a 45°, embora não muito. Não se trata tanto do efeito da resistência do ar, que de facto favorece ângulos um pouco mais pequenos do que 45°, mas mais do facto de o caçador lançar o tiro de cerca de 2 m de altura e não do nível do solo. Se o caçador estiver no interior de um buraco, o ângulo de tiro tem de ser superior a 45°. Os bons lançadores de peso ou de dardo conhecem esse facto e lançam o peso ou o dardo com um ângulo levemente inferior a 45°. É conveniente saber física, a física de Galileu, quando se pretendem bater os recordes do mundo.

3. O BARCO E A BOLA

Quem ficou confuso com a pergunta do caçador pode ser ajudado com o problema simples da queda de uma bola do cimo de um barco.

Consideremos que alguém lança uma bola de um barco que se encontra ancorado num porto. A bola é lançada do cimo do mastro, sem velocidade inicial, isto é, a bola é simplesmente deixada cair. Onde cai a bola? A resposta é imediata. A bola cai na base do mastro, exactamente debaixo do ponto de onde foi lançada.

Tomemos agora a âncora. Consideremos o mesmo barco em movimento, para a direita, com uma velocidade constante. A certa altura, quando o barco vai a andar, a mesma bola é deixada cair do topo do mesmo mastro. Onde é que a

bola agora cai? Para popa (para frente) ou para a ré (para trás)? Ou no mesmo sítio, na base do mastro?

Cai exactamente no mesmo sítio embora muitas pessoas sejam levadas pela intuição a dizer que a bola cai para a ré. Muita gente pensa que enquanto a bola cai o barco avança. É de facto verdade que enquanto a bola cai o barco avança. Contudo, a bola também avança, porque a bola vai com o barco ("pertence" ao barco). Podemos ver o fenómeno de dois sítios diferentes: de dentro do barco ou do porto. Dentro do barco vê-se a bola cair verticalmente, porque quem está no barco vê-o obviamente parado. Quem está dentro do barco observa que a bola percorre a mesma trajectória — uma trajectória em linha recta — que era vista na primeira situação do barco parado (aí tanto fazia

observador estar dentro ou fora do barco). Quem está no porto vê, por exemplo, o barco avançar para a direita. A bola avança também para a direita, enquanto está parada no cimo do mastro. A certa altura, a bola é largada. A bola tem portanto uma velocidade inicial na horizontal que é igual à velocidade do barco. Como não há forças horizontais, a bola conserva a mesma velocidade horizontal, que é (repetimos!) a do barco. Então do porto vê-se a bola sempre na vertical do mastro. A bola acaba finalmente por cair, exactamente na base do mastro, nem para a popa nem para a ré. Claro que se o barco tivesse acelerado, isto é, aumentado de velocidade, a bola caía para a ré e, se tivesse travado, caía para a popa, mas o barco nem acelerou nem travou.

Vista do porto, a bola descreveu uma parábola. O movimento da bola assemelha-se ao da bala disparada pela espingarda, com a diferença de que a velocidade horizontal da bola (e do barco) é muito menor do que a de uma bala. O barco acompanha a bola, da mesma maneira que o atirador pode acompanhar a bala, se o seu veículo for suficientemente rápido. A bola demora o mesmo tempo a cair quando o barco está parado ou quando este se move com velocidade constante, da mesma maneira que a bala demorava o mesmo tempo a cair quer partisse do repouso quer tivesse uma grande velocidade inicial.

Galileu (sempre ele!) chamou a este fenómeno "princípio da relatividade". Disse que a partir da observação de experiências mecânicas no seu interior não se pode saber se um barco se está a mover com velocidade constante ou se está parado. Ou dito de outra maneira: As leis da mecânica são as mesmas (são escritas da mesma forma) para um certo número de sistemas de referência. Chamam-se referenciais de inércia ou inerciais aqueles nos quais as leis da mecânica são válidas. Tudo parece bem e bonito se não se acrescentar uma verdade cruel: não se conhece em rigor na natureza um verdadeiro sistema de inércia... Mas isso é uma outra história.

Galileu no seu livro "Duas Ciências Novas" fala em colocar peixes a nadar num aquário, pássaros a voar, bolas a cair, tudo isso na cabina fechada de um barco. Os peixes, os pássaros e as bolas comportam-se exactamente da mesma maneira com o barco parado ou com a andar com velocidade constante. Assim, olhando para esses animais e objectos,

não se pode saber se o barco está parado ou a andar com velocidade constante. Pode parecer estranho que um pássaro "vá com o barco" se ele aparentemente paira no meio da cabina, isolado das paredes. Mas não está de facto isolado das paredes! O pássaro só voa porque existe ar à sua volta, ar esse que é arrastado pelas paredes. Do mesmo modo, o peixe nada porque tem água no aquário. Se o pássaro pudesse pairar, ignorando o barco, seria bem divertido... Isso significaria, por exemplo, que as viagens intercontinentais seriam fáceis e baratas. Bastava o eventual passageiro entrar dentro de um balão, ascender na vertical, esperar que a Terra girasse e, quando o sítio pretendido (à mesma latitude) estivesse por baixo, baixar simplesmente o balão. Mas isso não é possível porque a atmosfera gira com a Terra.

De acordo com o princípio da relatividade de Galileu, um malabarista de circo que seja perfeito num circo parado é perfeito também num circo a bordo de um transatlântico que viaje com velocidade constante. As habilidades que aprendeu por meio de treino prolongado fazem-se da mesma maneira a bordo do navio. Um campeão de bilhar em terra é também campeão de bilhar no mar, desde que o barco não acelere, ou entre em turbulência devido a alguma tempestade. Um bom físico treinado num certo sistema de referencial inercial é também um bom físico num outro sistema inercial. E ainda bem: se a física fosse diferente conforme o referencial considerado seria uma boa confusão, os físicos não se entenderiam e a física não poderia de todo existir!

A Terra desloca-se com uma "grande" velocidade (30 km/s em volta do Sol, mas no entanto os terrestres não se apercebem facilmente desse facto. Acontece que para intervalos de tempo pequenos e movimento da Terra é aproximadamente rectilíneo, com velocidade constante e a Terra pode ser considerada um sistema de inércia.

A teoria da relatividade de Galileu foi modificada por Einstein em 1905. Einstein afirmou que não só as leis da mecânica mas também todas as outras leis da física, em geral, isto é, as leis do electromagnetismo, da óptica, etc., são as mesmas em todos os referenciais de inércia. Assim um bom físico em todas as matérias num dado referencial continua a ser um bom físico num outro referencial: imóvel ou com velocidade constante em relação ao primeiro. Os custos da universalidade da física consis-

tem na revisão das velhas noções de espaço e tempo. O tempo de queda de um corpo varia, ainda que pouco, conforme a posição do observador. Galileu estava afinal errado por um bocadinho de nada.

4. O AVIÃO E A BOMBA

Passemos agora do mar para o espaço aéreo. Se o leitor ainda não compreendeu o princípio da relatividade de Galileu, vai compreendê-lo decerto agora, se considerar um bombardeamento aéreo.

Suponhamos que o leitor é um piloto-aviador que pretende bombardear uma determinada cidade do inimigo. O avião desloca-se com uma velocidade constante segundo uma trajectória que passa sobre a referida cidade. Perguntasse: onde é que o leitor deve premir no botão e lançar a bomba? Antes, por cima ou depois de passar sobre a cidade? A resposta é evidente para toda a gente, ou pelo menos para as pessoas que já viram filmes de guerra. O aviador deve largar a bomba antes. Quem não acreditar nesse facto é favor marcar um ponto no chão, pôr-se a correr a velocidade constante com uma bola na mão e procurar acertar com a bola no ponto, deixando-a simplesmente cair. Pode fazer isso no corredor lá de casa. Para a bola acertar na marca é preciso que ela seja lançada antes do portador passar sobre esse ponto. Se a velocidade de corrida for maior, a bola tem de ser lançada primeiro. A mesma coisa se passa com o avião: a bomba é a bola e o ponto no chão é a cidade.

Vejamos o modo como o bombardeamento é relatado pelas duas partes em confronto (convém ter as duas perspectivas, por uma questão de imparcialidade). A televisão da potência que ataca mandou um repórter a bordo do avião. Esse repórter filma o lançamento da bomba a partir do alçapão que de repente se abre e por onde a bomba cai. O filme mostra a bomba sempre na vertical se o avião não acelerar (normalmente os aviões aceleram ou dão meia volta para fugir da defesa antiaérea). No fim, vê-se o estrondo correspondente à queda da bomba. Nessa altura o avião está precisamente por cima do ponto atingido.

Vejamos agora o acontecimento filmado por um repórter do país atacado. O filme é realizado à distância: o repórter de guerra, apesar de temerário, não se arrisca a permanecer na cidade bombardeada. O seu filme mostra a bomba a descrever uma parábola com o avião sempre por cima da bomba, tal como acontecia com a bola e o barco. Estamos perante exemplos do mesmo fenómeno físico, em circunstâncias e cenários diferentes.

O tempo de queda (da bola no barco ou da bomba do avião) é o mesmo, quer as observações sejam feitas de dentro do veículo (barco ou avião) ou de fora. O tempo é absoluto, isto é decorre da mesma maneira para todos os observadores. Pelo menos, considerava-se que era assim antes de Einstein e as pequenas modificações introduzidas por este último não são para aqui chamadas.

O repórter a bordo do avião não pode saber se o avião está parado ou a andar com velocidade constante. Bem, até pode: basta pensar um bocadinho para concluir que o avião não pode permanecer imóvel no ar; os helicópteros e os balões é que podem.

Se o leitor quiser saber às quantas anda, se está parado, com velocidade constante ou acelerado, basta deixar cair um objecto qualquer da ponta do nariz. Se cair mesmo por baixo do nariz, ou está parado ou vai com velocidade constante (não se podem distinguir estas duas situações). Se o objecto cair à frente ou atrás do nariz, está a travar ou a acelerar. Na Terra, os objectos que largamos parecem cair por baixo do nariz. Alguns poderão pensar que a Terra está parada. Mas não: para um observador imóvel no espaço (imóvel relativamente ao Sol) não existem dúvidas do que a Terra se

desloca a 30 Km/s, como já foi referido. Esse observador vê um objecto (por exemplo, uma bola) que demora meio segundo a cair descrever uma parábola e aterrar 15 Km mais à frente. De facto, os objectos não nos caem exactamente debaixo do nariz, porque a Terra está a acelerar relativamente às estrelas ditas fixas (existe um movimento de revolução em torno do Sol e, além disso, a Terra gira em torno do seu eixo). O efeito é muito pequeno mas foi comprovado por experiências delicadas efectuadas por fulanos engenhosos. Galileu tinha razão: a Terra move-se.

5. A LUA E A MAÇA

Existem em física muitas histórias lendárias como a da Torre de Pisa. Uma delas conta que um dia estava

Newton a passar férias na sua região (tinha-se declarado a "peste negra" — a Sida daquela época — em Cambridge e ele achou melhor ir para o campo). Estava Newton sentado debaixo de uma macieira quando lhe caiu uma maçã em cima da cabeça. Certamente que a maçã estava demasiado madura. Ao mesmo tempo, a Lua brilhava poeticamente nos céus. Fez-se então luz no espírito de Newton, que compreendeu nesse preciso momento (ah!) que a força que fazia a maçã cair-lhe na cabeça era do mesmo tipo da que fazia a Lua mover-se em volta da Terra.

Nasce assim a física tal como a conhecemos. Pergunta: Porque é que a Lua não caiu na cabeça de Newton? Ou melhor, para tornar a questão mais interessante e actual, porque é que a Lua não cai nas nossas cabeças?

Em primeiro lugar, é oportuno um comentário. Ainda bem que a Lua não caiu porque então teria sido não apenas o princípio mas também o fim da física. Newton criou a física nesse momento de inspiração, em que se apercebeu que os fenómenos do céu eram regidos pelas mesmas leis que os fenómenos da Terra. A física começou pois com uma maçã. Também o mundo, segundo o relato bíblico, começou com uma maçã.

O facto de a Lua não cair nas nossas cabeças explica-se atendendo às condições iniciais. O movimento de um qualquer objecto é determinado, como vimos, não apenas pela força, mas também pelas condições iniciais. E a Lua é um objecto como qualquer outro.

Vejamos uma analogia, ainda que grosseira: se dermos uma palmada nas costas a alguém, duas coisas podem acontecer, conforme a "condição inicial" da pessoa que foi importunada. Ou a pessoa está bem disposta (a sua "condição inicial" é estar bem disposta), e não responde, limitando-se a sorrir. Ou está mal disposta (a sua "condição inicial" é estar chateada) e responde com outra palmada de volta. A mesma força provocou portanto reacções diferentes...

Analogamente a força de gravidade sobre a Lua pode fazer a Lua cair nas nossas cabeças ou fazê-la girar tranquila à volta da Terra. Ninguém sabe muito bem como é que a Lua surgiu. Quando a humanidade apareceu já a Lua cá estava... Hoje em dia, cada cabeça, sua sentença. Há quem diga que se deu há muitos anos um impacto de um corpo celeste na Terra primitiva. Esse choque arrancou parte da Terra e do rearranjo

resultou o nosso planeta e o seu satélite. Há quem diga que a Lua surgiu ao mesmo tempo que a Terra, nos primórdios do sistema solar. Há até quem afirme que a Lua foi um corpo estranho que foi simplesmente capturado pela Terra, existente anteriormente. Sabe-se hoje que a Lua é tão antiga como a Terra (as amostras de rochas lunares trazidas pelos astronautas permitiram datar a Lua, com uma aproximação razoável). Actualmente a teoria mais plausível é que a Lua resultou de um grande impacto sobre a Terra primitiva. Embora não se saiba muito sobre o início da Lua, sabe-se de certeza uma coisa: a Lua teve uma condição inicial tal que tem permanecido em órbita da Terra há vários milhões de anos. Teve pois uma condição inicial "feliz". Há planetas que têm condições iniciais "infelizes", porque acabam por colidir e desaparecer. E há outros que sobrevivem. A Lua teve uma condição inicial que a levou a manter-se em órbita em torno da Terra.

O que aconteceria se alguém, muito poderoso, pegasse na Lua e depois simplesmente a largasse. Não existem dúvidas: então a Lua cairia mesmo sobre a Terra. É um problema simples de física calcular quanto tempo é que a Lua demoraria a cair sobre as nossas cabeças (embora os estudantes de física geral o achem complicado). Podemos imaginar uma macieira gigantesca, cujos frutos fossem luas. Se o pé da nossa Lua cedesse (no caso, a macieira tem um único fruto, mas há planetas com muitas luas, como Saturno, que tem pelo menos 17) ela cairia sobre a Terra. Newton, no seu livro "Principia" publicado há pouco mais de 300 anos, desenhava várias condições iniciais para um projectil (uma maçã, por exemplo). Esses desenhos mostram, de certa maneira, como é que se transforma uma maçã numa Lua. É fácil. Em vez de se esperar que a maçã caia de podre, dá-se-lhe um piparote, comunicando-lhe uma pequena velocidade inicial na horizontal. Então a maçã já não cai na cabeça de Newton mas um pouco à frente do nariz dele. Se se transmitir à maçã um impulso ainda maior, ela cai ainda mais longe, uns metros à frente de Newton. Dispare-se a maçã com uma espingarda de disparar maçãs e ela vai cair quilómetros à frente (um bocadinho chamuscada pelo tiro, mas cai). Dispare-se depois um míssil de mandar maçãs e a maçã pode muito bem (a Terra é redonda) dar a volta à Terra e voltar por trás do Newton, regressando ao ponto de partida com a

mesma velocidade inicial). Esse fenómeno é possível em princípio mas impossível na prática por causa do atrito, das montanhas da Terra, etc. Consideremos portanto uma situação ideal. O pobre Newton veria atónito a maçã aparecer-lhe por cima... É um exercício de física geral, que costuma sair nos exames, saber qual tem de ser a velocidade inicial para a maçã ficar em órbita circular e quanto tempo é que a maçã demora a dar uma volta completa. Se a maçã ficasse em órbita, a Lua teria ganho uma companhia, isto é, passaríamos a existir dois satélites em volta da Terra. Uma minhoca dentro da maçã (as maçãs podres têm minhocas) seria a primeira minhoca astronauta... A Terra teria assim duas luas (de facto já tem muitas luas artificiais: os satélites são uma espécie de maçãs que se lançaram no espaço). A única diferença entre a Lua e a maçã é o raio da respectiva órbita circular e portanto a velocidade de revolução — os corpos em órbita mais perto da Terra andam com maior velocidade e têm um menor período (tempo que demora a dar uma volta completa). A Lua não é mais do que uma maçã grande, que está a "cair" sobre a Terra, de uma maneira muito peculiar. Dizemos que cai, porque, se não existisse a Terra, a Lua iria em linha recta (ignora-se para o caso a acção dos outros corpos do sistema solar). Mas cai pouco: cai só 1,5 mm em cada quilómetro percorrido. Podemos também dizer que demora infinito tempo a cair e que portanto nunca chega de todo a cair na Terra.

Newton mostrou que a força entre Terra e Lua ou entre maçã e terra variou na razão inversa do quadrado da distância. É o que vale, tanto a maçã como a Lua. Pode-se mostrar que se a força variasse com o inverso do cubo da distância, em vez de um círculo estável, a Lua descreveria muito provavelmente uma espiral, acabando mesmo por cair. E sem Lua não haveria física, nem físicos nem... habitantes da Terra. Com efeito, hoje suspeita-se que existe vida inteligente na Terra porque existe Lua. Foi a particularidade da Terra ter um único satélite natural, relativamente grande, que provocou e provoca o fluxo regular de marés dos oceanos. E foi esse fluxo regular de marés que permitiu à vida sair um dia do mar, onde nasceu, para a terra onde viria a tomar a forma inteligente, a forma, por exemplo, de um Galileu ou de um Newton. ☐

FALHASTE OUTRA VEZ, MELI VELHO.

