

Notas soltas sobre o ensino dos conceitos de massa e peso

JOÃO DA PROVIDÊNCIA

Departamento de Física da Universidade de Coimbra

IVONE AMARO, CILÍNIA SANTOS, LURDES SANTOS E TERESA COELHO

Escola Secundária de Montemor-o-Velho

Os corpos possuem um conjunto de características próprias que permitem distingui-los uns dos outros. A forma, a cor, o volume, etc., são algumas dessas características.

A massa é uma propriedade que se reveste de particular importância. Procuraremos situar o conceito de massa no contexto experimental da realidade física que nos é familiar ou facilmente acessível.

O lançamento duma pedra exige um esforço que depende apenas do tamanho da pedra, supondo que os projecteis são maciços e formados da mesma matéria. Bem o sabe o Pedro, por experiência. A maior resistência que a pedra grande oferece ao ser projectada, em comparação com a pedra mais pequena, é sem dúvida um atributo importante do projectil. Analogamente, quando, com o auxílio de uma funda, o Pedro faz girar objectos em órbita circular, verifica que a força necessária para segurar a extremidade fixa da funda é maior para uma pedra grande que para uma pedra pequena.

O Pedro e o Tó disputam a bola num desafio de futebol. O Tó sofre uma carga do Pedro, mas, por ser corpulento, aguenta o choque sem dificuldade. O mesmo encontrão teria tido um efeito mais espectacular se o alvo tivesse sido o Zé, que é um adversário franzino. Por outro lado, num carrocel em movimento de rotação o Tó precisa de se segurar com mais firmeza que

o Zé para não ser projectado pela força centrífuga. E ver-se-á em apuros caso a sua corpulência seja de natureza meramente adiposa, isto é, não represente força muscular. O conceito de massa é útil para ajudar a prever eventualidades que podem ocorrer em situações desta natureza. Diria um físico que a massa do Tó é superior à massa do Zé.

Imaginemos um corpo suspenso livremente. Chamamos peso do corpo à intensidade da força requerida para o sustentar, isto é, para o manter em equilíbrio num local concreto dum sistema de referência conveniente. Assim, este conceito pressupõe implicitamente que está a ser considerada uma posição determinada num referencial particular. Não representa uma característica absoluta do corpo, pois depende da posição geográfica e até do referencial. Poderia objectar-se que só os referenciais de inércia devem ser considerados, pois gozam dum estatuto especial em Mecânica Newtoniana. Assim, invocar, no caso do peso de um corpo, o papel do referencial, seria desaconselhável, visto que, aparentemente, tal alusão nada clarifica e pode contribuir para gerar confusão. Pois não é verdade, argumentar-se-á, que importa estabelecer claramente a distinção entre massa de inércia, que intervem na formulação matemática da lei fundamental da dinâmica, e massa gravítica, que intervem na formulação da lei newtoniana da

gravitação? Mostraremos que este argumento é artificial, do mesmo modo que, como veremos, não é natural a distinção entre forças de inércia e forças gravíticas.

Exemplifiquemos. Um autocarro trava repentinamente. Passageiros e bagagem são projectados. A tensão a que cada cinto de segurança fica sujeito para manter no lugar o respectivo passageiro depende não só da corpulência deste, mas também da brevidade da travagem. Analogamente, o esforço necessário para segurar peças da bagagem é tanto maior quanto menor for o intervalo de tempo decorrido até ser atingida a imobilização, mas depende também da natureza dos objectos: são muito diferentes os esforços necessários para segurar um pacote de livros ou uma almofada com o mesmo tamanho. No entanto, a relação entre os esforços necessários para segurar as duas peças é sempre a mesma, quer a travagem seja brusca ou não. Essa relação é característica dos objectos em questão e mede a massa de um deles em comparação com a do outro.

Um aluno interessado poderá objectar que é menor a força necessária para sustentar qualquer objecto quando o mergulharmos num líquido e que essa redução da força depende da natureza do objecto. E propor o exemplo de uma esfera de madeira e outra de ferro, de dimensões convenientes para terem o mesmo peso cá fora. Quando mergulhamos em água, a de madeira flutua e a de ferro afunda-se. Deste modo, a relação dos pesos não se apresenta como uma propriedade característica dos dois corpos. A esta objecção, responderá o professor prevenido precisando que a relação dos pesos caracteriza, efectivamente, os dois objectos e mede a relação das massas respectivas, desde que os pesos sejam tomados no vácuo.

Vem a propósito recordar as experiências de Galileu e de Eötvös, que estabelecem a equivalência entre massa de inércia e massa gravítica. Galileu estudou a queda dos graves e, segundo a lenda, verificou que objectos diferentes abandonados simultaneamente do cimo da célebre Torre de Pisa chegavam simultaneamente ao solo, demorando exactamente o mesmo tempo a descrever a respectiva trajectória, independentemente do seu tamanho e natureza. Séculos mais tarde, Eötvös nada mais fez que verificar,

com impressionante precisão experimental, que, se dois corpos se equilibram numa balança quando estão sujeitos a forças de natureza gravitacional, continuarão a equilibrar-se se passarem a ficar sujeitos a forças de natureza inercial. É o que se passa nesses carrocéis gigantes denominados «twisters» que exploram as potencialidades lúdicas das forças de inércia (Fig. 1). Quem neles anda bem sabe, por experiência, que deve acomodar-se na barquinha de modo que esta fique equilibrada enquanto o «twister» está parado, pois assim a barquinha continuará equilibrada quando o «twister» passar a mover-se. Não deixa de ser curioso que a experiência de Eötvös possa estar a ser repetida inconscientemente, embora de forma grosseira, numa Feira Popular.

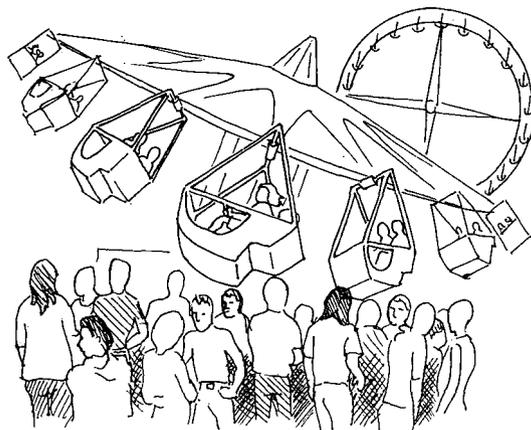


Fig. 1 — O «twister»

Se é difícil distinguir experimentalmente entre massa de inércia e massa gravítica (entre força de inércia e força gravítica) é porque a distinção, embora cómoda para a formulação matemática das leis, é fisicamente artificial. Como foi observado por Einstein, a equivalência entre os dois conceitos resulta duma simetria profunda da realidade física. Nada permite distinguir um referencial de inércia, na ausência de campo gravítico, de um referencial em queda livre. As leis da física são exactamente as mesmas em ambos. Por isso, distinguir massa de inércia de massa gravítica é tão difícil como distinguir dois compartimentos duma carruagem-

-cama. O passageiro que veio até ao corredor para desentorpecer as pernas e se esqueceu do número, não tardará a dar-se conta do sarilho que tal situação pode acarretar.

Exemplificaremos os conceitos de massa e peso através de duas experiências elementares, concebidas expressamente para pôr em evidência as diferenças que distinguem um do outro. Começaremos por considerar o sistema constituído por uma roldana suspensa dum ponto fixo através dum dinamómetro de grande precisão e dois objectos de pesos diferentes ligados por um fio que passa pela roldana (Fig. 2). Quando o sistema é abandonado à acção da gravidade, um dos objectos tende a descer e o outro a subir e, enquanto o sistema se move desta forma, o dinamómetro vai acusando um «peso» menor

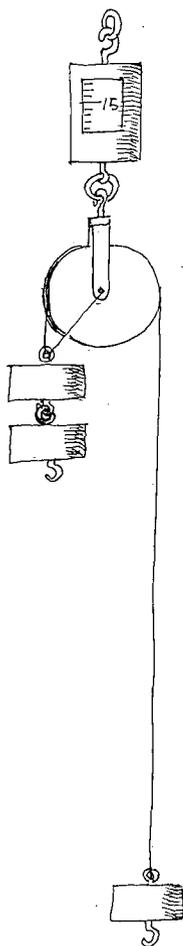


Fig. 2 — Dispositivo descrito no texto

que o que passará a acusar quando o movimento terminar, por o objecto em ascensão ter embatido na roldana. Demonstrar a alteração do «peso», era precisamente o objectivo desta experiência. Para que ela resulte, é indispensável dispor de aparelhos sensíveis e fazer um bom aproveitamento do espaço vertical acessível.

Evoca esta experiência um exercício clássico dos manuais de Mecânica. Um fugitivo (Fig. 3), que pesa 80 quilos, dispõe, para descer uma

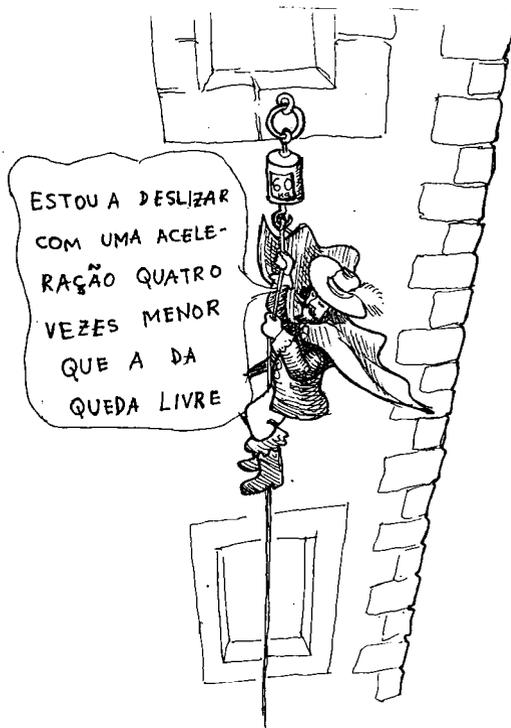


Fig. 3 — A fuga

parede alta, de uma corda que não suporta pesos de mais de 60 quilos. Qual é a aceleração mínima com que deve deslizar pela corda? Isto é, que há-de o fugitivo fazer para pesar 60 quilos, ou menos, enquanto desliza pela corda? As imagens familiares de interiores de cápsulas em órbita terrestre mostram, eloquentemente, que é nulo o peso dos astronautas e objectos que lá se encontram (Fig. 4). É que um satélite artificial não passa de um referencial em queda livre. Analogamente, será nulo o peso que a corda terá de suportar se o fugitivo deslizar em queda

livre. Então a corda não quebrará mas esta não é, certamente, a solução que interessa. Fica aqui o problema, como um desafio à imaginação do leitor.



Fig. 4 — Interior de cápsula orbital

A segunda experiência é descrita seguidamente. Suspendem-se dois objectos das extremidades duma haste que, por sua vez, é ligada ao gancho dum dinamómetro, por um ponto intermédio, de modo a assegurar o equilíbrio (Fig. 5a). Além disso, um dispositivo adequado assegura que o ponto de suspensão do dinamómetro possa descrever uma trajetória circular horizontal com movimento uniforme (Fig. 5b). O sistema é uma espécie de balança pendurada numa espécie de carroucel. A experiência consiste em verificar que o «peso» registado no dinamómetro se altera tanto mais quanto maior for a velocidade de

rotação. No entanto, como nos casos do «twister» e da experiência de Eötvös, os dois objectos suspensos não perdem a capacidade de se equilibrarem.

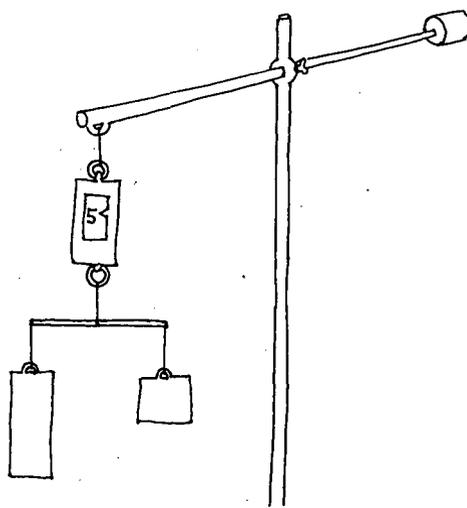


Fig. 5a — Dispositivo descrito no texto, em repouso

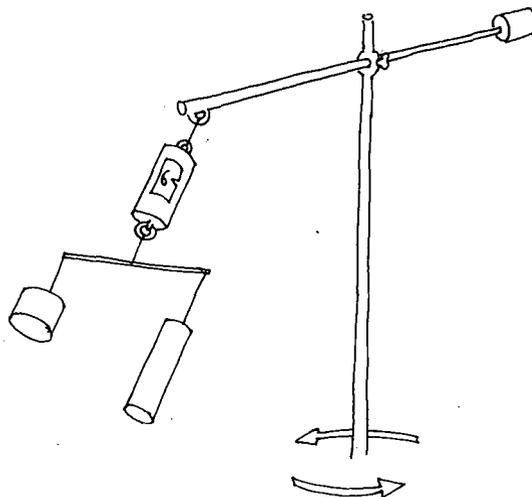


Fig. 5b — Dispositivo descrito no texto, em movimento

Os autores agradecem comentários pertinentes da Doutora Conceição Ruivo.