
UM EXPERIMENTO CONTRAINTUITIVO

Rolando Axt

Helio Bonadiman

Departamento de Física, Estatística e Matemática

Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul

Ijuí – RS

Maria Teresinha Xavier Silva

Instituto de Física - UFRGS

Porto Alegre – RS

Resumo

Os movimentos simultâneos de duas esferas que rolam sobre um par de pistas adjacentes são comparados. O resultado, um tanto inesperado e desafiador, é brevemente discutido.

Introdução

Em recentes cursos para aperfeiçoamento de professores de Física (Pró-Ciências, IFUFRGS e UNIJUÍ, 1996, 1997 e 1999) e em exposições interativas para estudantes e para o público em geral (FENADI-IJUÍ/RS, 1998 e 1999; Três Passos/RS, 1998 e Cerro Largo/RS, 1999), introduzimos diversos experimentos, cuja característica é a de desafiar o senso comum das pessoas. Nessas ocasiões, constatamos que o público é atraído pelo comportamento paradoxal desses experimentos e, querendo entendê-lo, dedica-lhes mais atenção. Um exemplo típico é a conhecida demonstração sobre um

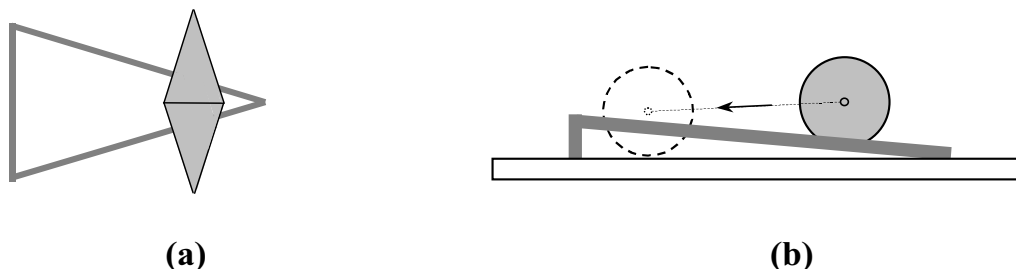


Fig.1: (a) Vista superior e (b) vista lateral do duplo cone. Na verdade, seguindo a trajetória indicada pela seta, o baricentro do duplo cone desce.

“duplo cone” que, ao rolar espontaneamente para a parte mais elevada de uma rampa, parece contrariar o princípio do equilíbrio mecânico (Fig.1).

Tal como já ocorrera em 1998, em outubro de 1999, na Festa Nacional das Culturas Diversificadas – FENADI, nossa exposição interativa de experimentos de Física, instalada no pavilhão da UNIJUÍ, recebeu cerca de oito mil visitantes em dez dias. As novidades na área de mecânica foram a “roda quadrada”⁽¹⁾, as “ciclóides” (curvas de mesmo tempo) e a “cadeira giratória”. Esta última fez grande sucesso, pois todos queriam experimentá-la (Fig.2).



Fig.2: “Cadeira giratória”. Foto: Gerson Atkinson.

No presente texto, descrevemos um desses experimentos contraintuitivos: a “pista dupla”⁽²⁾. Surpreendentemente, não raro afigura-se ele contraintuitivo entre pessoas que já possuem escolaridade em Física. Em contrapartida, muitas vezes, crianças e adultos não escolarizados em Física fazem a previsão correta do resultado, até com certa naturalidade.

Sugestões sobre outros experimentos, que também se caracterizam por desafiar o senso comum das pessoas, podem ser encontrados no CCEF e no Boletim GEF do Instituto de Física da UFRGS^(3, 4, 5).

Descrição

O equipamento utilizado consiste em uma “pista dupla”, ou seja, em duas pistas de madeira dispostas lado a lado sobre uma base comum (Fig.3 e 4). Duas esferas de aço ou de vidro ($\varnothing \leq 15$ mm) completam o material. (As pistas foram escavadas na

madeira com tupa; as esferas rolam apoiadas em um só ponto; as forças dissipativas são mínimas).

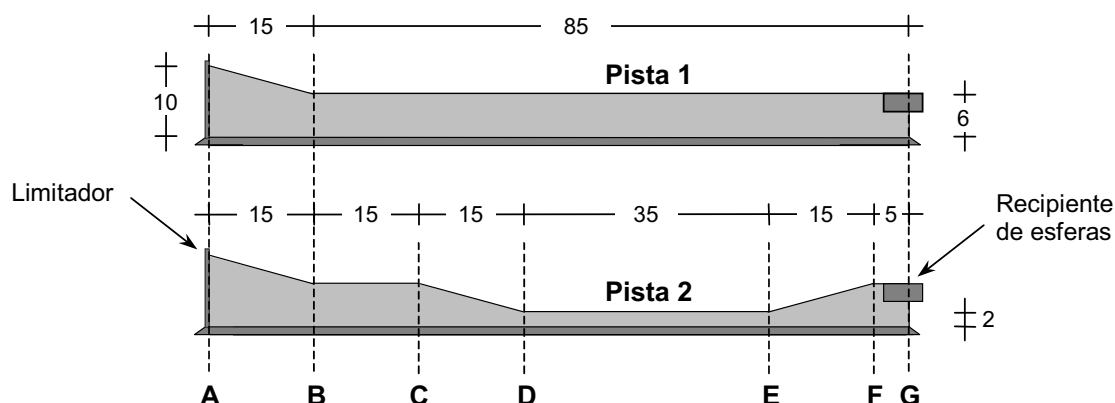


Fig.3: Vista lateral das pistas. (As dimensões estão dadas em centímetros.)

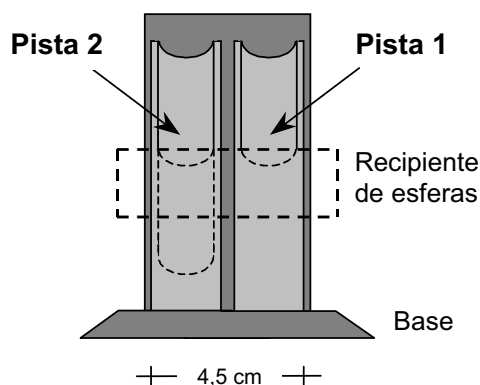


Fig.4: Vista frontal das pistas.

Dando ênfase ao “design” da pista, esperamos incentivar o leitor a construí-la. De resto, o enfoque do problema poderá envolver tanto uma análise qualitativa e limitada à cinemática de translação de uma massa puntiforme, como quantitativa, envolvendo inclusive dinâmica de translação e de rotação de um corpo rígido⁽⁶⁾.

Para apresentar a demonstração, seguimos um procedimento simples⁽²⁾, que consiste em fazer uma breve descrição das pistas e, antes de largar as esferas, solicitar às pessoas que façam suas predições diante da seguinte pergunta:

Quando soltas simultaneamente de A, as esferas alcançam G juntas ou separadas? Se separadas, qual delas leva o menor tempo?

Discussão

Em resumo, são apontadas três possibilidades de resposta para descrever os movimentos das esferas:

I – A esfera da pista 1 chega antes pois a trajetória é mais curta.

II – As esferas chegam ao mesmo tempo pois suas velocidades finais são iguais.

III – A esfera da pista 2 chega antes. Uma frase comum utilizada seria: “a esfera pega embalo na descida”.

A resposta I apresenta baixa ocorrência. Quem dá essa resposta aparentemente desconsidera variações de velocidade, aplicando ao tempo medidas que correspondem ao espaço. Já no segundo caso, as explicações dadas invocam a conservação da energia mecânica aplicada a movimentos de translação. De fato, abstraindo-se as forças dissipativas, e sendo as esferas soltas, ambas da mesma posição de partida (letra A, na Fig.3), suas velocidades nos trechos BC e FG serão iguais. Devemos, contudo, observar o que ocorre com as velocidades de translação das esferas a partir do ponto C: a esfera da pista 1 continua a se mover até o final do seu percurso com a mesma velocidade que tinha em C; já a esfera da pista 2 sofre um acréscimo de velocidade no declive CD, desloca-se entre D e E com essa velocidade (maior) e só após subir o aclave EF, sua velocidade iguala-se novamente à da esfera 1. Mas a conclusão de que as esferas chegam ao final de suas trajetórias com velocidades iguais não é suficiente para explicar o problema. É preciso levar em conta também a variável tempo, isto é, a relação entre a velocidade e a distância percorrida. Esta consideração, puramente cinemática, é supostamente feita por quem dá a resposta III (resposta correta). A conclusão é que, em qualquer ponto situado no trecho compreendido entre C e F, o módulo da velocidade da esfera da pista 2 é maior do que o módulo da velocidade da esfera da pista 1. As pessoas percebem que a uma velocidade (média) maior corresponde um tempo menor de percurso e se valem deste argumento para explicar a aparente contradição existente no experimento.

Os gráficos $v_x \times t$ dos movimentos de translação do centro de massa das esferas, considerando-se apenas suas projeções na direção horizontal, estão representados na Fig.5. Note-se que, neste caso, as distâncias horizontais percorridas são exatamente iguais. (Na realidade, a diferença de percurso entre as pistas não passa de 1 cm.).

Por fim, uma questão para conferir e sobre a qual devemos refletir: a opção pela alternativa II ocorre freqüentemente entre pessoas que estudaram Física por muitos anos. Como explicar esse fato?

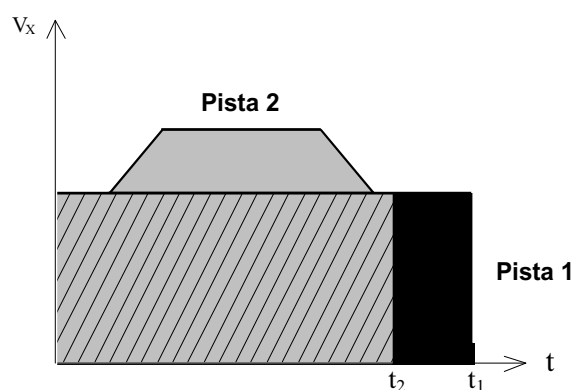


Fig.5: Gráfico comparativo $v_x \times t$ dos movimentos entre os pontos B e G. Observe o intervalo de tempo em que $v_{x2} > v_{x1}$ e relacione-o ao correspondente trecho CF da pista 2. Os tempos t_1 e t_2 estão condicionados pela regra da igualdade das áreas.

Estimativa dos tempos de percurso

A partir da expressão $a = \frac{5}{7} g \sin \theta$ para a aceleração do centro de massa de uma esfera, que rola sem deslizar sobre um plano, cuja inclinação com a horizontal é θ , calculamos o módulo das acelerações das esferas sobre as rampas (todas de mesma inclinação): $a = 1,80 \text{ m/s}^2$.

Com esse dado e as dimensões extraídas da Fig.3, estimamos os tempos de percurso das esferas, considerando seus movimentos ou retilíneo uniforme ou retilíneo uniformemente acelerado. Obtivemos $t_1 = 1,32 \text{ s}$ para a pista 1, $t_2 = 1,12 \text{ s}$ para a pista 2 e $\Delta t = 0,20 \text{ s}$ para o intervalo de tempo entre as chegadas das esferas ao final da pista dupla.

Realizando medições com um cronômetro de relógio de pulso obtivemos, em média, $t_1 \cong 1,40 \text{ s}$, $t_2 \cong 1,20 \text{ s}$ e $\Delta t \cong 0,20 \text{ s}$.

Se a concavidade das pistas for muito acentuada ou o diâmetro das esferas muito grande, pode ocorrer que elas rolem apoiadas em dois pontos. Neste caso, os tempos de percurso serão maiores do que os tempos obtidos usando esferas apoiadas em um só ponto. A aceleração do centro de massa não será mais dada pela expressão acima utilizada e sim por uma expressão mais complexa. A aceleração passa a depender da relação entre o raio da esfera e a largura interna da pista^(6,7), sendo seu módulo menor do que $1,80 \text{ m/s}^2$.

Pode-se construir uma “pista dupla”, sobre a qual as esferas rolem apoiadas em dois pontos, moldando trilhos metálicos com perfil em forma de U. Veja, por exemplo, a sugestão publicada em “The Physics Teacher”⁽⁸⁾, out. 1999.

Custos

O preço de uma única peça da “pista dupla” pode oscilar bastante. Para reduzir custos, convém confeccionar diversas unidades de uma só vez, copiando um protótipo já testado. Por exemplo, professores (alunos-cursistas) do Pró-Ciências/99 – UNIJUÍ encomendaram a um marceneiro local, a confecção de 20 “pistas duplas”, feitas em madeira de pinho envernizada, com as dimensões sugeridas na Fig.3, e pagaram R\$10,00 por unidade.

Referências Bibliográficas:

- (1) Valadares, E. C. Physics on sale – Brazilian style. **Phys. World**, v. 12, n. 3, p. 64, mar. 1999.
- (2) Leonard, W. J.; Gerace, W. J. The Power of Simple Reasoning. **Phys. Teach.**, v. 34, n. 3, p. 280-83, may. 1996.
- (3) Livi, R. P.; Axt, R. “Mistérios” na queda de corpos. Boletim GEF 11, IF-UFRGS. Porto Alegre. 1995.
- (4) Silveira, F. L. Sem quebrar as taças! Boletim GEF 12, IF-UFRGS. Porto Alegre. 1995 e **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 12, n. 2, p. 152-156, 1995.
- (5) Silva, M. T. X.; Axt, R. Surpresas na localização do centro de gravidade de uma vassoura. Boletim GEF 14, IF-UFRGS. Porto Alegre. 1997.
- (6) Arriasecq, I. et al. Cuerpo rígido: experiencia de laboratorio con material de bajo costo. **Cad. Cat. Ens. Fís.**, v. 16, n. 1, p. 92-100, abr. 1999.
- (7) Axt, R.; Guimarães, V. H. **Física Experimental**: manual de laboratório para mecânica e calor. 2. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS, 1991.
- (8) Hewitt, P. G. Figuring Physics. **Phys. Teach.**, v. 37, n. 7, p. 423, out. 1999.