



Medindo a velocidade de rotação da Terra sem sair de casa

Cada vez mais fala-se a respeito da inclusão de experimentos simples, com materiais de baixo custo e fácil acesso, para poder elucidar muitos dos questionamentos que os alunos trazem para a sala de aula, principalmente no ensino médio. Outra função bastante interessante dos experimentos desse tipo é que o professor, ao conseguir construí-los facilmente, pode levá-los em suas aulas, tomando-os como ponto de partida de problematizações e discussões para o tema que estiver desenvolvendo. Através das atividades experimentais, observando atentamente as respostas dos alunos sobre o que está ocorrendo nos experimentos, o professor também obtém uma forma bastante eficiente para identificar as concepções alternativas que os estudantes possuem a respeito do assunto. A partir dessas informações, o professor poderá elaborar mais especificamente o percurso que irá seguir nas discussões do conteúdo.

O que eu proponho é uma maneira bastante simples de o professor encorajar os alunos a responderem uma dúvida que comumente surge ao tratar o movimento circular em sala de aula. Existem outras fontes onde o professor pode encontrar diversos experimentos simples e com materiais de fácil acesso, como por exemplo o livro do professor Valadares [1] (vale salientar que o livro nada tem a ver com o que faremos aqui, mas não gostaria de deixar de citá-lo como uma ótima fonte de atividades experimentais).

Quando se trata do movimento circular, geralmente na primeira série do ensino médio, um dos exemplos dados pelos professores é a questão do movimento de translação dos planetas em torno do Sol (apesar de ser uma aproximação, pois a órbita é elíptica). Ou então pode-se dar o exemplo de uma pessoa parada na superfície da Terra também estar realizando um movimento circular, devido agora ao movimento de rotação do planeta. E, ao

se falar do assunto, muitas vezes surge a pergunta dos alunos: “E qual é a velocidade de rotação da Terra?” Essa pergunta oportuniza a discussão de muitos conceitos e/ou noções de física, como, por exemplo, a diferença entre velocidade escalar e angular, a dependência radial, ou seja, qual delas depende da posição onde o observador está na superfície da Terra, e qual delas independe.

Após as devidas considerações, o professor poderá sugerir aos alunos, ou realizar junto deles, o experimento aqui proposto, que pretende justamente sanar esta dúvida. Vamos calcular a velocidade angular de rotação da Terra a partir de objetos simples e de muito fácil acesso em qualquer lugar.

É possível também que o professor planeje esta atividade durante as explicações e tratamentos do assunto de movimento circular, mas isto demandará um tempo maior para a realização de todo o processo e também será necessária uma atenção mais cuidadosa do professor enquanto os alunos trabalham neste processo.

Inspiração

A inspiração para realizar este experimento me ocorreu antes de uma aula da universidade. Cheguei na sala, já era final da tarde e o Sol ia se pondo, e vi que a luz do Sol passava por um orifício na janela e formava um círculo luminoso no quadro. Fiquei observando. Após um pequeno intervalo de tempo, como era de se esperar, o círculo já não estava mais no mesmo lugar. Então me veio a idéia: será que consigo calcular a velocidade angular da Terra, a partir da mudança de posição do círculo de luz originado pelo Sol de forma fácil? O que fiz está descrito a seguir.

A experiência

Os materiais são realmente fáceis de se conseguir. Relaciono, em seguida, aqui-

.....
Marcelo Girardi Schappo

Universidade Federal de Santa

Catarina, Florianópolis, SC, Brasil

E-mail:marceloschappo@hotmail.com
.....

Aqui, apresentamos mais uma maneira de você utilizar materiais de baixo custo e fácil acesso para conseguir um resultado surpreendente: medir a velocidade de rotação do nosso planeta. Isto pode-se tornar uma atividade bastante interessante e enriquecedora na hora de ensinar movimento circular.

lo que é necessário. Também sugiro alternativas para alguns materiais: papel branco, lápis, cronômetro, fita adesiva ou apoio de papel, régua ou trena, barbante e objeto furado. Como objeto furado, utilizei o furo sobre o tampo de uma mesa de PVC para colocar guarda-sol.

Para o entendimento do procedimento experimental, é necessário levar em consideração os efeitos de movimento relativo entre a Terra e o Sol. Sendo assim, falar que o Sol está girando em torno da Terra com velocidade angular ω é equivalente a pensar na Terra girando com velocidade ω no sentido contrário, enquanto não translada ao redor do Sol. Então, o que faremos na experiência é, na verdade, calcular a “velocidade angular de translação do Sol em torno da Terra”, ω , novamente salientando que essa velocidade é “fictícia”, ou seja, o Sol não está transladando em torno da Terra; essa será apenas a técnica que utilizaremos.

Vale lembrar que o fato de se considerar a Terra sem translação em torno do Sol é uma aproximação, e só é válida porque o tempo de duração da experiência é muito curto quando comparado ao período de translação da Terra.

O que faremos é usar a aproximação de triângulos como se fosse uma câmara escura de orifício, já bem conhecida por professores do ensino médio, para calcular a distância percorrida pelo Sol ao longo de sua “órbita” ao redor da Terra. Em posse dessa distância e do tempo que levou para percorrê-la, é possível calcular sua velocidade escalar. Sabendo a velocidade escalar, divide-se pelo raio da trajetória (distância Terra-Sol) e, finalmente, obtém-se o valor da velocidade angular que estamos procurando ($v = \omega.R$). O esquema está representado na Fig. 1.

Mas você deve estar se perguntando: “pelo que propomos com a idéia da velocidade relativa, quem está se movendo é

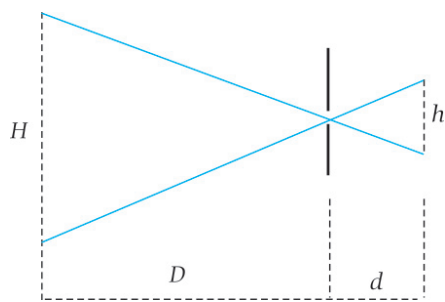


Figura 1 – Aproximação de triângulos. De acordo com este modelo, o Sol se move uma distância H no céu, e seu círculo de luz se move uma distância h no anteparo. A distância entre o orifício e o Sol é D , e entre o orifício e o anteparo é d .

o Sol em torno da Terra, e ainda em órbita circular. Então a distância H não deveria ser um arco, ao invés de uma linha reta? Como podemos usar semelhança de triângulos?” Vamos mostrar que é possível fazer a aproximação de trajetória retilínea (veja mais abaixo a seção “Por que usar semelhança de triângulos?”).

Visto isso, o procedimento que tomaremos é o seguinte:

1) Posicionar o objeto furado, no caso a mesa, de modo que se consiga que a luz do Sol atravessasse-o e chegue ao anteparo (Fig. 2);

2) O anteparo considerado foi uma folha de papel, fixada por pesos de papel, colocada sob a mesa, na região onde a luz a estava atingindo;

3) Com o lápis, desenhe sobre o papel a posição inicial da região iluminada marcando o ponto central de maior luminosidade;

4) Ao término do desenho dispare o cronômetro. A partir deste momento a experiência está em curso. Não balance a mesa nem mude o papel de lugar. Evite de qualquer modo alterar os materiais. No nosso caso, deixamos a experiência correr por 10 minutos, ou seja, 600 segundos (Fig. 3);

5) Decorrido esse tempo, imediatamente desenhe a nova posição da região



Figura 2 – Aparato experimental. Repare o feixe de luz sobre o papel e o furo na mesa.

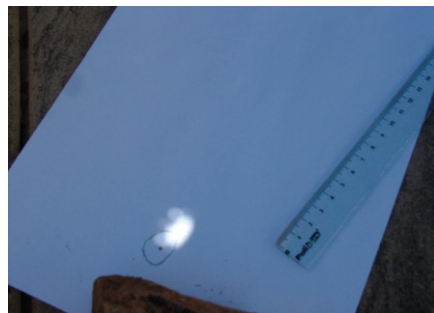


Figura 3 – Após alguns minutos de experiência, o feixe de luz já se deslocou visivelmente da posição inicial (marcada a lápis no papel).

iluminada e o ponto central de maior luminosidade;

6) Meça a distância entre os dois pontos centrais dos seus desenhos no papel. Neste caso, encontramos o valor de 3,85 cm, ou 0,0385 m (Fig. 4);

7) Agora, a única medida que falta fazer é a distância entre o orifício da mesa e a folha de papel. Utilizamos um fio de barbante esticado entre os dois pontos. Depois, com auxílio de trena, medimos o comprimento dele. Neste caso, achamos 89,50 cm, ou 0,8950 m (vale salientar que a distância d não é a altura da mesa, pois perceba que ela é a distância direta, em linha reta, desde o orifício da mesa até a marcação na folha de papel).

Algumas observações a respeito do experimento são importantes:

- Não vamos nos preocupar, por não ser o objetivo deste trabalho, com a teoria de erros. Mas encorajamos fortemente que se faça, na medida do possível, essa discussão em sala de aula;

- Há uma influência bastante grande da refração da luz solar na atmosfera, desviando o caminho da mesma. Para minimizar esse efeito, aconselha-se fazer a experiência em horário próximo ao meio-dia. No caso, realizamos a mesma entre 12:35 h e 12:55 h (montagem, tomada de dados, e desmontagem);

- Logicamente, o céu não pode estar encoberto. Então, ao se propor tal atividade aos alunos, não esqueça de deixar tempo hábil para que possa ser feita a experiência, frente às diferentes e inconstantes (no caso de Florianópolis) condições de meteorologia.

Fazendo as contas...

De posse dos nossos dados coletados e fazendo a semelhança de triângulos proposta anteriormente, temos:

$$H = ? \quad D = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$$

$$d = 0,8950 \text{ m} \quad h = 0,0385 \text{ m}$$

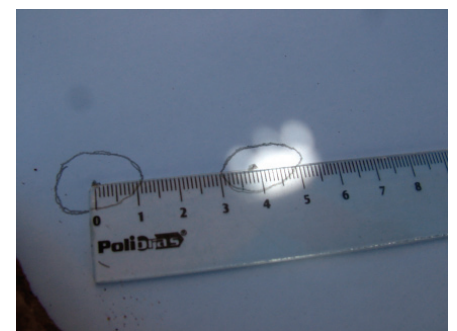


Figura 4 – Após 10 minutos, a nova marcação na folha de papel. Desde o término da experiência, o Sol se deslocou mais adiante, mas não se confunda na hora de fazer a medida! O que vale é aquilo que foi marcado.

Note que o valor de D foi considerado a distância Terra-Sol. Então agora aplicando a relação do triângulo

$$\frac{h}{d} = \frac{H}{D} \rightarrow \frac{0,0385}{0,8950} = \frac{H}{1,5 \times 10^{11}} \rightarrow$$

$$H = 6,452514 \times 10^9 \text{ m.}$$

Como H significa a distância percorrida pelo Sol em torno da Terra, a velocidade escalar de “translação” do Sol em sua “órbita” será o valor de H dividido pelo tempo da experiência

$$v = \frac{H}{t} \rightarrow v = \frac{6,452514 \times 10^9}{600} \rightarrow$$

$$v = 1,075419 \times 10^7 \text{ m/s.}$$

Agora, finalmente, sabendo-se que a distância desse objeto até o centro de translação pode ser escrita como o valor da distância Terra-Sol (chamada aqui de D), temos como encontrar o valor da velocidade angular

$$v = \omega R \rightarrow \omega = \frac{v}{D} \rightarrow \omega = \frac{1,075419 \times 10^7}{1,5 \times 10^{11}}$$

$$\rightarrow \omega = 7,169460 \times 10^{-5} \text{ rad/s.}$$

Com isso, chegamos à suposta velocidade angular de translação do Sol em torno da Terra. Como explicado anteriormente, essa velocidade angular corresponde à velocidade angular de rotação da Terra, que era exatamente o que queríamos encontrar.

Note que, ao escrevermos o valor de D e do raio da suposta trajetória do Sol em torno da Terra, não consideramos o raio da Terra, e o motivo disso é que ele tem um valor desprezível quando considerada a distância Terra-Sol. Veja

$$\left| \frac{R_T - D_{T-S}}{D_{T-S}} \right| = \left| \frac{6,4 \times 10^6 - 1,5 \times 10^{11}}{1,5 \times 10^{11}} \right| =$$

$$0,99995733.$$

Quanto mais desprezível for o raio da Terra em relação à distância Terra-Sol, mais próximo de 1 deveria dar o resultado da razão anterior. E, realmente, chegamos muito próximo disso. Para os fins que queremos com este trabalho, é uma excelente aproximação.

Vamos calcular agora o valor de referência para a velocidade angular de rotação da Terra (o período de rotação da Terra é 23 horas e 56 minutos, ou seja, 86160 segundos). O valor de π é considerado 3,141593, então

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2 \times 3,141593}{86160} =$$

$$7,292463 \times 10^{-5} \text{ rad/s.}$$

Por fim, podemos calcular o erro percentual do valor encontrado experimentalmente e o valor de referência calculado

$$E\% = \left| \frac{7,169460 \times 10^{-5} - 7,292463 \times 10^{-5}}{7,292463 \times 10^{-5}} \right|$$

$$\times 100 = 1,686714\%.$$

Frente à realidade de um pequeno erro experimental para a velocidade angular da Terra, bem como todas as aproximações e considerações que fizemos ao longo do processo, chegar a um erro percentual como este é realmente impressionante. Uma outra coisa que costuma deixar os alunos chocados é a velocidade escalar de, por exemplo, uma pessoa na superfície da Terra sobre o equador. Podemos usar para fazer esse cálculo o valor da velocidade angular encontrada experimentalmente (o raio da Terra considerado 6400 km)

$$v = \omega R \rightarrow$$

$$v = (7,169460 \times 10^{-5}) \times (6,4 \times 10^6) \rightarrow$$

$$v = 458,84544 \text{ m/s} \cong 1650 \text{ km/h.}$$

E agora, certamente a pergunta será: “professor, como então a pessoa não sente essa velocidade toda?”, mas isso já seria assunto de um outro artigo. Pode-se discutir questões de inércia e também o fato de que a camada atmosférica também rotaciona com a Terra, fazendo com que a pessoa não sinta nenhum forte vento contrário por estar-se movendo com uma velocidade de 1650 km/h.

Por que usar semelhança de triângulos?

A possibilidade de utilização da *semelhança de triângulos* se resume no fato de podermos considerar a distância H como sendo uma linha reta, e não um arco de circunferência, como seria mais adequado. Para mostrar que podemos fazer isso, vamos calcular qual seria o valor do suposto arco e comparar com o valor de H que encontramos anteriormente. Das relações da circunferência, temos

$$S = r \cdot \alpha,$$

onde S é o arco, r é o raio do movimento circular e α é o ângulo aberto pelo móvel em movimento. Sabendo o valor da velocidade angular teórica e o tempo do movimento, podemos encontrar o valor de α .

$$\omega = \frac{\alpha}{t} \rightarrow \alpha = \omega t \rightarrow S = r \omega t.$$

O valor de r é a distância Terra-Sol (novamente o argumento de que o raio da Terra é desprezível), a velocidade angular teórica foi calculada anteriormente e o tempo de experiência é 600 segundos. Então, fica-

mos com um arco S de

$$S = (1,5 \times 10^{11}) \times (7,292463 \times 10^{-5}) \times 600 \rightarrow$$

$$S = 6,563217 \times 10^9 \text{ m.}$$

O valor que encontramos para H na aproximação com linha reta foi de $6,452514 \times 10^9$ m, mostrando novamente que, para os fins deste trabalho, a aproximação é válida.

Conclusões

Durante todo o caminho das considerações e dos cálculos apresentados neste artigo, fizemos uma série de aproximações, que estão devidamente explicadas quando aparecem. Este é um ponto muito interessante para discutir-se em sala de aula, ou seja, quais as aproximações que precisamos fazer? E, principalmente, o porquê de podermos fazê-las. Sem dúvida, este trabalho e estas discussões podem ser realmente uma ótima oportunidade para que o aluno esclareça os conceitos de velocidade escalar, velocidade angular, período de movimento, movimento circular, etc.

E mais uma vez se afirma que se utilizando de experimentos e procedimentos simples, com materiais de baixo custo e fácil acesso se consegue resultados realmente impressionantes. Afinal, sem maiores cuidados com algarismos significativos, com o modelo utilizado de semelhança de triângulos, e com todas as aproximações que fizemos, chegamos a um erro percentual em relação ao valor teórico de menos de 2%. Isso é fascinante! E pode ser um ótimo meio de fazer os alunos se interessarem mais pela física e pelas ciências experimentais. Sucesso e bom trabalho!

Agradecimento

Agradeço ao professor Vinicius Jacques pelos valiosos comentários e sugestões que me ajudaram a compor parte do texto deste artigo.

Também agradeço ao meu irmão, físico, Maurício Girardi Schappo, por ter-me auxiliado no dia da realização do experimento.

Referências

- [1] Eduardo de Campos Valadares, *Física Mais que Divertida* (Editora UFMG, Belo Horizonte, 2002).