
DETERMINAÇÃO DA CONSTANTE SOLAR POR MEIO DE UM “CALORÍMETRO” COM GELO*

Cláudio A. Perottoni

Janete E. Zorzi

Departamento Física e Química – UCS

Caxias do Sul – RS

Resumo

Este artigo descreve um procedimento experimental simples, usado para a determinação da constante solar. A partir do resultado obtido experimentalmente é possível inferir acerca da potência gerada pelo Sol e, assim, conduzir uma discussão a respeito de tópicos de astrofísica, incluindo o mecanismo de geração de energia nas estrelas.

Palavras-chave: Constante solar, calorímetro de gelo.

I. Introdução

A coincidência entre um ensolarado dia de inverno e o congelamento da água de uma bacia no interior da geladeira do laboratório levou à realização de um experimento ao mesmo tempo instrutivo e divertido.

A idéia em si não é nova^(1,2,3). Trata-se, em última análise, da medida da taxa de incidência de radiação solar por metro quadrado de superfície terrestre utilizando um calorímetro, neste caso, com gelo.

II. Material e montagem experimental

Material necessário:

- recipiente para o gelo (no experimento aqui descrito, as dimensões eram 0,5 x 0,29 x 0,05 m);
- proveta graduada, ou outro recipiente que permita medidas de volume;
- Cronômetro.

O recipiente com o gelo é deixado por alguns minutos ao ar livre, protegido do Sol, de modo a que se inicie o processo de fusão. Então, retira-se o

* Publicado no Caderno Catarinense de Ensino de Física, v. 10, n. 2, ago. 1993.

líquido assim formado e dispõe-se o recipiente horizontalmente, conforme a Fig. 1, sustentado em seus quatro cantos por apoios de madeira, procurando diminuir ao máximo a transferência de calor por condução.

III Procedimento experimental

O recipiente, com uma camada de gelo (de aproximadamente 1 cm de espessura), foi colocado ao ar livre, protegido da incidência da radiação solar direta por meio de um anteparo posto 50 cm acima dele.

Com esse arranjo, mede-se o volume de água acumulada da fusão do gelo a cada 10 minutos. Esse procedimento é repetido de três a quatro vezes, até haver reprodutibilidade nos resultados, com os quais calcula-se a taxa de fusão do gelo decorrente da transferência de calor por convecção do ar, m_{conv} (considerando a densidade da água igual a 1000 kg.m^{-3}).

Em seguida, retira-se o anteparo, expondo o sistema à radiação solar direta.

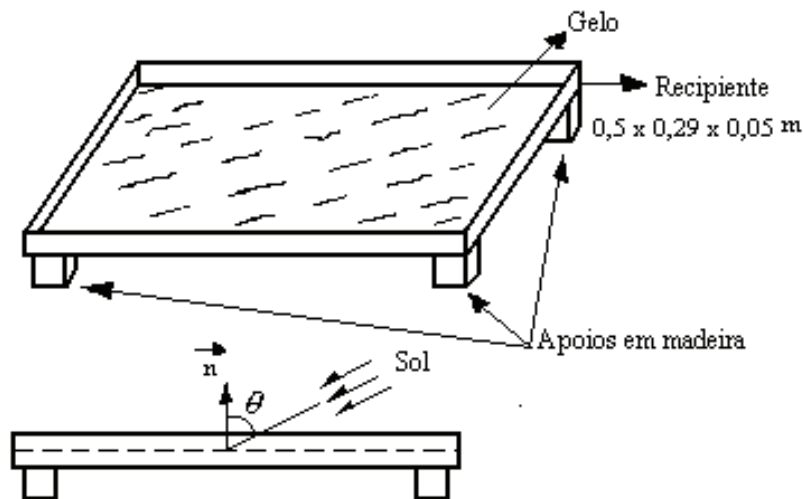


Fig. 1 - Esquema de montagem do experimento.

Repete-se a coleta de água acumulada pela fusão do gelo a cada 10 minutos, conforme o procedimento anterior. A média dos valores assim obtidos corresponde à taxa de fusão do gelo devido à transferência de calor por convecção do ar e radiação (mt). Os resultados de uma experiência são mostrados na Tabela 1.

O ângulo θ entre a direção de incidência dos raios solares e a normal à superfície do gelo é facilmente obtido medindo-se o comprimento da sombra projetada por uma haste vertical de altura conhecida, conforme a Fig. 2. Para os valores anotados na Tabela 1, o valor do ângulo θ era de $45,6^\circ$.

Tabela 1 – Resultados experimentais obtidos conforme o procedimento descrito.

Data: 06/08/92	Hora: 13h30min	T _{amb} : 19°C
Condições		Massa de gelo derretida (kg)
c/anteparo		0.120
		0.115
		0.119
s/anteparo		0.187
		0.189
		0.188

$$m_{conv} = (1,97 \pm 0,04) \times 10^{-4} \text{ kg.s}^{-1}$$

$$m_t = (3,13 \pm 0,02) \times 10^{-4} \text{ kg.s}^{-1}$$

Nem toda a radiação incidente é absorvida pela crosta de gelo. Usando uma fotocélula para uma medida relativa da luz incidente sobre a camada de gelo e a fração desta que é refletida, estimou-se em cerca de $0,5 \pm 0,05$ a fração da luz incidente que é absorvida pelo gelo, em conformidade com os valores fornecidos na literatura⁽⁴⁾.

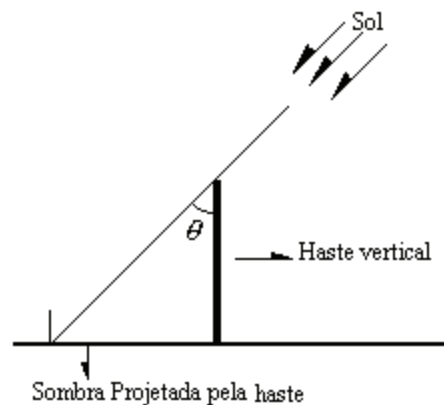


Fig. 2 - Haste vertical e esquema de medida do ângulo θ entre a direção de incidência dos raios solares e a vertical.

O balanço energético sobre a superfície de gelo leva à seguinte expressão:

$$f\phi \cos \theta = \frac{L}{A} (m_t - m_{conv}) \quad (1)$$

na qual:

f é a fração de radiação incidente que é absorvida pela camada de gelo;

ϕ , o fluxo de radiação total que atinge a superfície terrestre, em W m^{-2} ;

θ , o ângulo azimutal;

A, a área da superfície exposta ao Sol;

L, o calor latente de fusão do gelo;

m_t , a taxa de fusão do gelo devido à troca de calor com o ar circundante e pela radiação solar direta e difusa, em $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$;

m_{conv} , a taxa de fusão de gelo devido à transferência de calor por convecção pelo ar, também em $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

Substituindo na expressão acima os valores obtidos experimentalmente, e tomando $L = 33,5 \text{ k J kg}^{-1}$ e $A = 0,145\text{m}^2$, chegamos a um valor para o fluxo de radiação solar por metro quadrado de superfície terrestre igual a:

$$\phi = 767 \pm 97 \text{ W m}^{-2}$$

em boa concordância com os valores fornecidos na literatura para a latitude (29 S) e época do ano nas quais se realizou a experiência^(3,4,5).

Uma parte da radiação solar que chega ao nosso planeta é absorvida pelos gases da atmosfera, e o decréscimo na intensidade dessa radiação segue uma relação exponencial. O resultado obtido acima pode ser substituído na expressão (2), de modo a se obter o valor do fluxo de radiação solar por metro quadrado fora dos limites da atmosfera terrestre ϕ_o .

$$\frac{\phi_o}{\phi} = \exp(na_{\text{dm}}m) \quad (2)$$

na qual n é o fator de opacidade do ar, a_{dm} o coeficiente de dispersão molecular e m a espessura relativa da massa de ar⁽⁴⁾.

Para uma atmosfera limpa, $n \cong 2$. A espessura relativa da massa de ar corresponde à secante do ângulo azimutal, $m = 1,429$. O coeficiente de dispersão molecular é calculado para o ar, à pressão atmosférica, através da relação⁽⁴⁾:

$$a_{\text{dm}} = 0,128 - 0,054 \log m. \quad (3)$$

Então, $a_{\text{dm}} = 0,12$, que conduz a $\phi_o = 1080 \pm 136 \text{ W m}^{-2}$.

Este valor corresponde ao fluxo de radiação solar através de uma superfície de 1 m^2 , orientada perpendicularmente à direção do fluxo, a uma distância de 1 UA do Sol, valor este conhecido como constante solar^(5,6,7). O resultado acima é cerca de 20% inferior ao valor aceito, 1369 W m^{-2} . Melhores resultados podem ser obtidos usando um recipiente para o gelo com fundo escuro e fosco.

IV. Comentários finais

A maior parte da incerteza quanto ao resultado final deve-se à estimativa do valor de f , de modo que devem ser tomadas certas precauções na sua determinação. A fração de radiação incidente absorvida pelo gelo também pode ser

estimada usando-se valores para a taxa de incidência de radiação solar fornecidos por um pireliômetro, quando disponível.

Uma experiência semelhante a esta pode ser utilizada como elemento motivador para a introdução de alguns tópicos de astrofísica, como, por exemplo, a origem dessa tremenda energia proveniente do Sol.

A partir da estimativa $\phi_0 = 1080 \pm 136 \text{ W m}^{-2}$, um breve cálculo permite avaliar a potência emitida pelo Sol⁽⁸⁾, como segue:

$$P = 4 \pi R^2 \phi_0 \quad (4)$$

na qual:

R é o raio médio da órbita terrestre (1 UA ou $1,49 \times 10^{11} \text{ m}$);

$P = 3,0 \times 10^{26} \text{ W}$.

Desse total, cerca de 125.000 terawatts-ano chegam ao nosso planeta. Isto representa aproximadamente 10.000 vezes o atual consumo energético mundial⁽⁹⁾!

Considerando que essa energia é liberada a partir de reações termonucleares no interior do Sol, segundo nossos resultados, pode-se estimar, de $E = mc^2$, que cerca de 3,5 milhões de toneladas de matéria são convertidas em energia a cada segundo, na imensa fornalha solar!

Agradecimentos

Os autores agradecem ao estudante de Eng. Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, Valdir de Bortoli, pelo auxílio prestado durante a realização destes experimentos.

Referências Bibliográficas

1. BARTLETT, A.A. A large solar calorimeter. **Physics Teacher**, v. 24, n. 8, p. 484-487, 1986.
2. BASSO, D. **Desenvolvimento, construção e calibração de radiômetros para a medida da radiação solar**. 1980. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia, UFRGS, Porto Alegre.
3. GANIEL, U; KEDEM, O. Solar energy – How much do we receive? **Physics Teacher**, v. 21, n. 9, p. 573-575, 1983.
4. HOLMAN, J. P. **Transferência de calor**. São Paulo: McGraw-Hill, 1983.

5. DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W. A. **Solar engineering of thermal processes**. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1974.
6. BAKULIN, P. I.; KONONOVICH, E. V.; MOROZ, V. I. **Curso de astronomía general**. Moscou: Mir, 1987.
7. Handbook of chemistry and physics, 60a ed., CRC Press, Boca Raton, FL, 1979-1980.
8. DUPUY, D. L. Measuring solar luminosity with a photodiode. **American Journal of Physics**, v. 57, n. 9, p. 826-828, 1989.
9. DAVIS, G. R. Energía para el planeta Tierra. **Investigación y Ciencia**, n. 170, p. 105-113, 1990.