

- a) Qual é a expressão algébrica da intensidade (I) da radiação solar?

Por meio do texto do enunciado, conclui-se que a intensidade I é dada por:

$$I = \frac{\Delta E}{A \cdot \Delta t} = \frac{P}{A}$$

- b) Qual é a unidade de intensidade de radiação no Sistema Internacional de Unidades (SI)?

$$[I] = \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} = \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

- c) Qual é o volume da água que preenche o recipiente?

O volume da água corresponde ao volume do paralelepípedo. Como os raios de luz solar são paralelos entre si, a sombra do recipiente tem as mesmas dimensões das faces maiores do paralelepípedo.

Logo, o volume da água é:

$$V = 25 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 1,5 \text{ cm} = 750 \text{ cm}^3 = 750 \text{ mL}$$

- d) Determine a quantidade de energia, em joules, necessária para o aquecimento da água.

Como 750 mL correspondem a 750 g, temos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta$$

$$Q = 750 \cdot 1 \cdot (27 - 25) = 1\,500 \text{ cal} \cdot 4 \frac{\text{J}}{\text{cal}} = 6\,000 \text{ J}$$

- e) Determine a potência útil, em watts, de absorção de energia radiante pelo sistema.

Essa quantidade de calor (6000 J) foi absorvida em 400 s. Assim:

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{6\,000 \text{ J}}{400 \text{ s}} = 15 \text{ W}$$

- f) Determine o valor aproximado da potência total de radiação solar incidente sobre a lata (use calculadora).

A potência de 15 W corresponde a 90% da potência total.

Assim:

$$P_u = 0,9 \cdot P_t$$

$$15 = 0,9 \cdot P_t$$

$$\therefore P_t = 16,7 \text{ W}$$

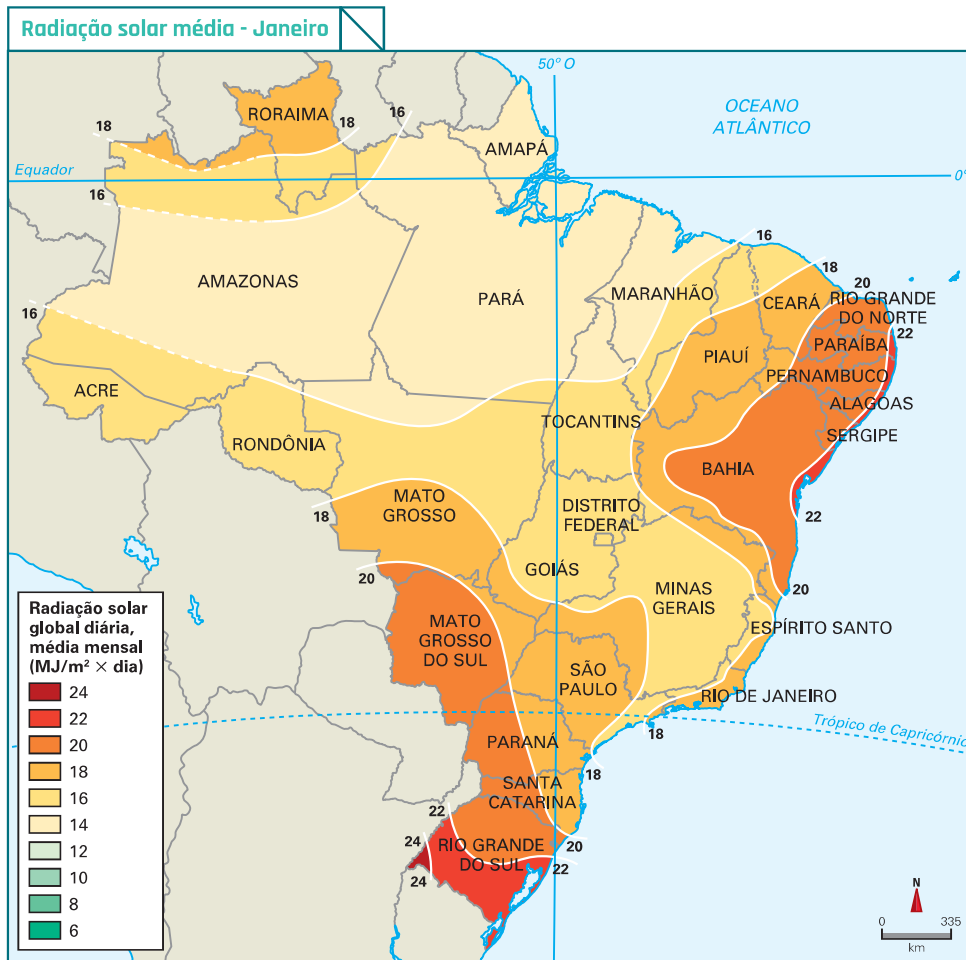
- g) Considere que a área da sombra corresponda à área da superfície da lata banhada pela luz solar. Nessas condições, qual é a intensidade média da radiação solar (I) nesse local, em W/m^2 ?

A área da sombra (A) é: $25 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = 500 \text{ cm}^2 = 5 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

Assim, o valor de I é:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{16,7}{5 \cdot 10^{-2}} = 334 \text{ W}/\text{m}^2$$

- h) Suponha que essa tenha sido a intensidade média de radiação solar, em um dia de janeiro, em uma região na qual o sol nasce às 6 h e se põe às 18 h.
Consultando a figura a seguir, indique a região mais provável na qual esse experimento deve ter sido realizado.



Fonte: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Atlas_Solarimetrico_do_Brasil_2000.pdf (página 37). Acesso em: 14 jun. 2021.

Observando a unidade na figura ($\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$), temos:

$$I = 334 \text{ W/m}^2 = 334 \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2}$$

Na região considerada, temos 12 horas de luz solar por dia, que equivalem a:

$$\Delta t_{\text{luz solar}} = 12 \text{ h} = 12 \cdot 3600 \text{ s} = 43200 \text{ s}$$

Logo:

$$I = 334 \frac{\text{J}}{\text{s} \cdot \text{m}^2} \cdot \frac{43200 \text{ s}}{1 \text{ dia}} = 14428800 \frac{\text{J}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}} = 14,4 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2 \cdot \text{dia}}$$

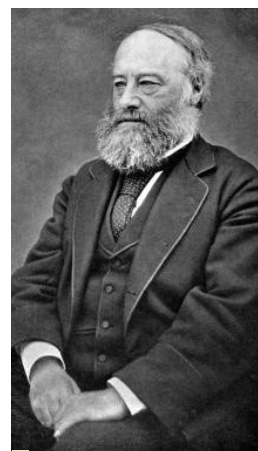
Consultando o mapa fornecido, a região na qual provavelmente esse experimento foi realizado abrange a maior parte da região Norte, incluindo também a porção mais setentrional do Mato Grosso.

Aula 4

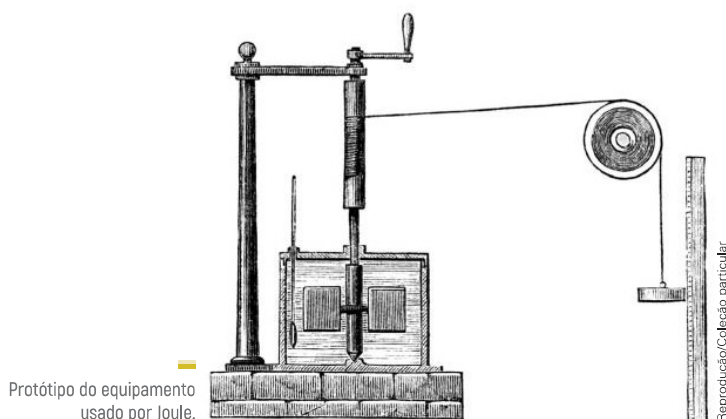
2 O conceito de calor como forma de energia, podendo ser transformada em outra modalidade, data de meados do século XIX. A construção desse conceito se deve a muitos cientistas desse período, mas coube ao britânico James Joule, “cientista amador” e filho de um proprietário de cervejaria, a realização de um experimento que estabelecia a quantidade de energia mecânica que deveria ser transferida a um sistema a fim de promover seu aquecimento. Esse experimento determinou o que é conhecido como equivalente mecânico do calor. Após sua morte, a unidade **joule** passou a ser reconhecida, em sua homenagem, como unidade de energia no SI. A importância desse experimento não reside somente na obtenção da relação $1 \text{ cal} \approx 4,2 \text{ J}$, mas também na consolidação no princípio de conservação de energia e na possibilidade de transformação de uma modalidade de energia em outra. Cabe ressaltar que outros cientistas realizaram experimentos distintos com a mesma finalidade, como Benjamim Thompson, Sadi Carnot, Robert Mayer e Maxwell.

A ideia era bastante simples, embora os acertos e os detalhes tenham exigido de Joule 35 anos de dedicação aos aperfeiçoamentos necessários.

Em um recipiente termicamente isolado, pás giratórias promoviam agitação da água e seu consequente aquecimento, mostrando a conversão de energia mecânica (movimento das pás) em energia térmica (aumento na agitação das moléculas de água).



James Prescott Joule (1818-1889).



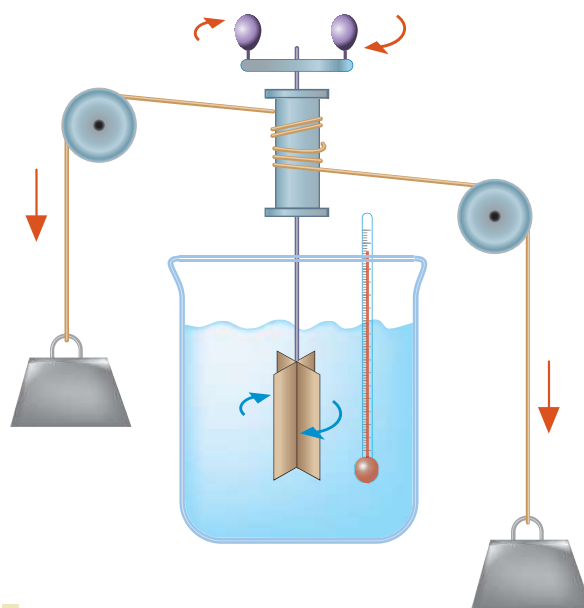
Vamos analisar a física por trás desse experimento.

Suponha que em um recipiente haja 500 mL de água em equilíbrio térmico e que o conjunto esteja termicamente isolado do exterior.

A água é agitada por um conjunto de pás, acopladas a fios que se conectam a dois corpos, de massa 1 kg cada um, que caem de uma altura de 1 m. As dimensões das pás são ajustadas para que os corpos caiam com velocidade praticamente constante. Suponha que a capacidade térmica do sistema (recipiente, pás, termômetro, etc.) seja $80 \text{ cal}/^{\circ}\text{C}$.

Considere:

- $d_{\text{água}} = 1 \text{ g}/\text{cm}^3$.
- $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$.
- Calor específico da água: $1 \text{ cal}/(\text{g} \cdot ^{\circ}\text{C})$.
- $g = 10 \text{ m}/\text{s}^2$.
- Desprezíveis as dissipações de energia nas roldanas e nos eventuais atritos das peças maciças.



Esquema do experimento de Joule.

Reprodução/Coletção particular

Reprodução/Coletção particular

- a) Observando exclusivamente os corpos enquanto eles caem com velocidade constante, está havendo conservação de energia mecânica?

Não, pois, como a velocidade é constante, as energias cinéticas não variam. Por outro lado, durante a queda, ocorre uma perda de energia potencial gravitacional.

- b) Supondo que esses corpos sejam submetidos a n quedas, como seria possível determinar a quantidade de energia mecânica que foi transferida à água?

$$\Delta E = n \cdot 2 \cdot m \cdot g \cdot h$$

- c) Qual é a razão de não haver conservação de energia mecânica nos corpos?

A perda da energia potencial gravitacional deveria ser compensada pelo ganho de energia cinética. Essa conversão não ocorreu porque, durante a rotação das pás dentro da água, há uma força de resistência que a água exerce nas pás, realizando trabalho – e essa força não é conservativa.

- d) Embora não tenha havido conservação de energia mecânica, pode-se assumir que houve conservação de energia no sistema?

Sim. Assumimos o princípio geral da Física, que diz que a energia não pode ser criada nem destruída, somente transformada ou transferida.

- e) O que explica o aquecimento da água? Deve-se à transferência de calor?

Não. Calor é energia transferida entre corpos a temperaturas distintas.

A água não está próxima a nenhuma fonte quente. O aquecimento só pode ser explicado pelo trabalho realizado pela força de resistência da água, que acaba por promover a agitação das suas moléculas.

- f) Em que momento se deve aferir a temperatura da água? Enquanto ela está girando com as pás ou depois de atingir o repouso?

Somente após o repouso, pois, enquanto se movimenta, a energia

potencial gravitacional dos corpos está se transformando em energia

cinética "macroscópica" da água. Ao parar, pode-se esperar que a

perda de energia potencial gravitacional dos corpos seja convertida em

energia cinética "microscópica" das moléculas de água (energia

térmica), verificada pelo aumento de sua temperatura.

- g) Calcule o número de quedas a que esses corpos devem ser submetidos para produzir uma variação unitária de temperatura do sistema (recipiente, acessórios e água).

Para produzir uma variação unitária de temperatura ($\Delta\theta = 1^\circ\text{C}$) no sistema como um todo, a quantidade de energia térmica envolvida é:

$$\Delta E = C_{\text{recipiente}} \cdot \Delta\theta_{\text{sistema}} + m_{\text{água}} \cdot c_{\text{água}} \cdot \Delta\theta_{\text{sistema}}$$

$$\Delta E = 80 \cdot 1 + 500 \cdot 1 \cdot 1$$

$$\Delta E = 580 \text{ cal} = 2\,320 \text{ J}$$

Já a energia perdida pelas n quedas dos corpos é:

$$\Delta E = n \cdot 2 \cdot m \cdot g \cdot h$$

$$\Delta E = n \cdot 2 \cdot 1 \cdot 10 \cdot 1$$

$$\Delta E = 20 \cdot n \text{ J}$$

Igualando-se essas quantidades:

$$20 \cdot n = 2\,320$$

$$n = 116 \text{ quedas}$$

Aula 5

- 3 JP é um técnico que trabalha em uma empresa de instalação de aparelhos de ar condicionado. Certo dia, foi chamado por uma *startup* na qual trabalham 4 pessoas, cada uma com seu *laptop*, em um escritório fechado de dimensões $5\text{ m} \times 6\text{ m} \times 3\text{ m}$.



Consultando dados da literatura, JP sabe que uma pessoa sentada e trabalhando dissipa 100 W de energia térmica ao ambiente, sendo grande parte dessa energia dissipada por irradiação de infravermelho. Já um *laptop* dissipa em média 80 W sob forma de calor.

Segundo as especificações exigidas pelo escritório, a empresa deveria instalar um aparelho de ar condicionado que fosse capaz de reduzir a temperatura do ambiente em $5\text{ }^\circ\text{C}$ em 20 minutos, com todas as pessoas e os computadores ligados no interior do escritório.

O fabricante do aparelho de ar condicionado que será instalado no escritório assegura que a eficiência energética (*EER*, sigla de "Energy Efficiency Ratio") daquele modelo é igual a 5.

Nessas condições, responda às seguintes questões.

Note e adote:

- Calor específico do ar: $10^3\text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$.
- Densidade do ar: $1,2\text{ kg/m}^3$.

• Definição da eficiência energética: $EER = \frac{[\text{potência de refrigeração}]}{[\text{potência elétrica consumida}]}$

- a) Qual é o valor total da potência térmica dissipada pelas pessoas e pelos *laptops*?
- $4\text{ pessoas} \times 100\text{ W/pessoa} = 400\text{ W}$
 $4\text{ laptops} \times 80\text{ W/laptop} = 320\text{ W}$
 Potência total dissipada: 720 W
- b) Por considerar outras fontes de dissipação de calor para o ambiente do escritório (cafeteira, impressoras, condução de calor pelas paredes do escritório, irradiação térmica pelas janelas, etc.), o técnico aplica sobre o cálculo anterior um coeficiente de ajuste – que, no caso, é de 1,4.

Desse modo, o valor arredondado e admitido como potência total térmica dissipada para o interior do recinto vale $\underline{1000}\text{ W}$.

$$720 \times 1,4 = 1008\text{ W}$$

- c) Determine a potência térmica, em watts, que esse aparelho deve ter somente para refrigerar o ar ambiente.

$$\text{Massa de ar: } m = d \cdot V = 1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (5\text{ m} \cdot 6\text{ m} \cdot 3\text{ m}) = 108\text{ kg}$$

Módulo da quantidade de calor que o aparelho deve extrair dessa massa de ar:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\theta = 108\text{ kg} \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 5\text{ }^\circ\text{C} = 5,4 \cdot 10^5\text{ J}$$

Essa quantidade de calor deve ser extraída em 20 minutos, ou seja, 1200 s. Logo, a potência de refrigeração requerida do aparelho para refrigerar o ar ambiente é:

$$P = \frac{Q}{t} = \frac{5,4 \cdot 10^5}{1200} = 450\text{ W}$$

- d) Determine a potência total de refrigeração desse aparelho.

$$P_{\text{total}} = 1000\text{ W} + 450\text{ W} = 1450\text{ W}$$

- e) Determine a potência elétrica consumida pelo aparelho.

$$EER = \frac{[\text{potência de refrigeração}]}{[\text{potência elétrica consumida}]}$$

$$5 = \frac{1450}{[\text{potência elétrica consumida}]}$$

Portanto:
 $P_{\text{elétrica}} = 290\text{ W}$

- f) Suponha que nesse escritório, após a instalação, o aparelho de ar condicionado fique ligado 8 horas por dia, consumindo a potência elétrica determinada no item anterior. Ao longo de 1 mês (22 dias úteis), considerando que o preço do kWh cobrado pela concessionária de energia elétrica local seja R\$ 0,60, qual será o valor total, em reais, do consumo desse aparelho?

$$\Delta E = P \cdot \Delta t$$

$$\Delta E = 0,29\text{ kW} \cdot (8 \cdot 22)\text{ h}$$

$$\Delta E = 51,04\text{ kWh}$$

$$\text{Custo: } 51,04\text{ kWh} \cdot \frac{\text{R\$ } 0,60}{\text{kWh}} = \text{R\$ } 30,62$$