

Termodinâmica

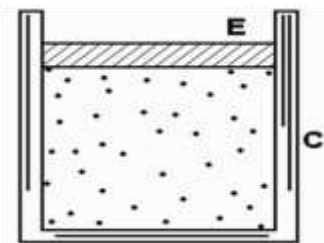
1. Um recipiente, em contato com uma fonte térmica, contém um gás ideal, confinado em seu interior devido à presença de um êmbolo que pode deslizar sem atrito, como mostra a figura a seguir.



Calcule a quantidade de calor fornecida pela fonte, em um segundo, para que a temperatura do gás não se altere. Considere $g=10\text{m/s}^2$ e que o êmbolo, de massa igual a 4kg, movimenta-se verticalmente para cima, com velocidade constante e igual a 0,5m/s.

2. A figura representa um gás ideal contido num cilindro C fechado por um êmbolo E de área $S=2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ e massa $m=2,0\text{kg}$. O gás absorve uma determinada quantidade de calor Q e, em consequência, o êmbolo sobe $5,0 \cdot 10^{-2} \text{ m}$, livremente e sem vazamento. A pressão atmosférica local é $1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

Calcule os trabalhos realizados pelo gás contra a pressão atmosférica, W_a , e contra a gravidade, para erguer o êmbolo, W_g . (Adote $g = 10 \text{ m/s}^2$.)



3. A 10°C , 100 gotas idênticas tem um líquido ocupam um volume de $1,0\text{cm}^3$. A 60°C , o volume ocupado pelo líquido é de $1,01\text{cm}^3$. Calcule:

- a massa de 1 gota de líquido a 10°C , sabendo-se que sua densidade, a esta temperatura, é de $0,90\text{g/cm}^3$.
- o coeficiente de dilatação volumétrica do líquido.

4. A Organização Mundial de Saúde (OMS) divulgou recentemente um relatório sobre o impacto na saúde humana da radiação emitida pelos telefones celulares. Neste relatório, a OMS destaca que sinais emitidos por estes aparelhos conseguem penetrar em até 1cm nos tecidos humanos, provocando um correspondente aumento da temperatura do corpo.

Considerando que o corpo humano é formado basicamente por água, estime o tempo total de conversação necessário para que um usuário de 60kg tenha um acréscimo de temperatura de 1°C . Os sinais emitidos pelos celulares têm, em média, uma potência de 0,4W e só são gerados enquanto o usuário fala ao telefone. O calor específico da água vale $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$. Considere que apenas 50% da energia emitida pelo celular seja responsável pelo referido aumento de temperatura ($1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$).

5. Uma das grandes contribuições para a ciência do século XIX foi a introdução, por Sadi Carnot, em 1824, de uma lei para o rendimento das máquinas térmicas, que veio a se transformar na lei que conhecemos hoje como Segunda Lei da Termodinâmica. Na sua versão original, a afirmação de Carnot era: todas as máquinas térmicas reversíveis ideais, operando entre duas temperaturas, uma maior e outra menor, têm a mesma eficiência, e nenhuma máquina operando entre essas temperaturas pode ter eficiência maior do que uma máquina térmica reversível ideal. Com base no texto e nos conhecimentos sobre o tema, é correto afirmar:

- a) A afirmação de Carnot sobre máquinas térmicas pode ser encarada como uma outra maneira de dizer que há limites para a possibilidade de aprimoramento técnico, sendo impossível obter uma máquina com rendimento maior do que a de uma máquina térmica ideal.
- b) A afirmação de Carnot introduziu a ideia de Ciclo de Carnot, que veio a ser o ciclo em que operam, ainda hoje, nossos motores elétricos.
- c) Carnot viveu em uma época em que o progresso técnico era muito lento, e sua afirmação é hoje desprovida de sentido, pois o progresso técnico é ilimitado.
- d) A afirmação, como formulada originalmente, vale somente para máquinas a vapor, que eram as únicas que existiam na época de Carnot.
- e) A afirmação de Carnot introduziu a ideia de Ciclo de Carnot, que é o ciclo em que operam, ainda hoje, nossas máquinas térmicas.

6. Um inventor afirma que construiu uma máquina que extrai $Q_1 = 2500 \text{ cal}$ de uma fonte à temperatura de 400K e que rejeita $Q_2 = 1300 \text{ cal}$ para uma fonte à temperatura de 200K.

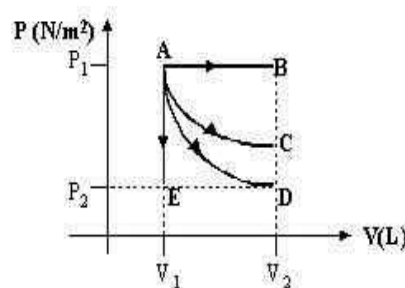
- a. Determine o rendimento dessa máquina com base nos valores de Q_1 e Q_2 .
- b. Determine o rendimento dessa máquina com base no princípio de Carnot (2ª. lei da termodinâmica).
- c. Explique se é viável investir na construção dessa máquina.

7. Um folheto explicativo sobre uma máquina térmica afirma que ela, ao receber 4186 J de uma fonte quente, realiza 1000 cal de trabalho. Sabendo que 1 cal equivale a 4,186 J e com base nos dados fornecidos, pode-se afirmar que esta máquina viola qual das leis da termodinâmica:

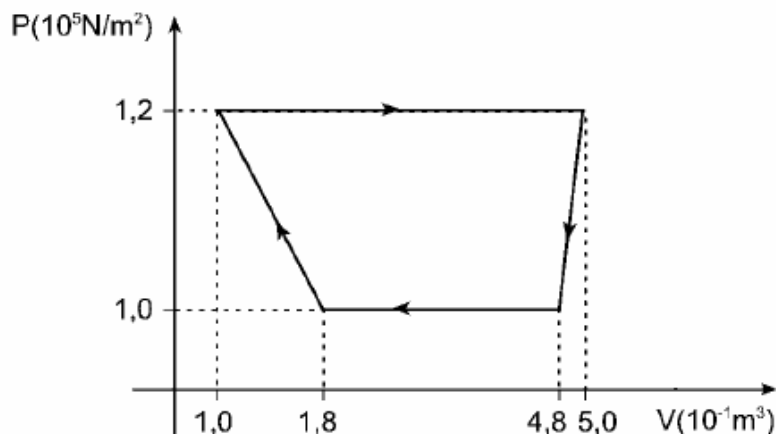
8. Transformações gasosas e cálculo do trabalho:

8.a. Um gás é submetido às seguintes transformações mostradas no diagrama abaixo. Assinale a alternativa correta.

- A expansão isobárica **AB** o gás cede calor ($Q < 0$)
- Na expansão isotérmica **AC** não existe troca de calor ($Q = 0$)
- Na expansão adiabática **AD** o gás não realiza trabalho ($T = 0$)
- No esfriamento isométrico **AE** o gás recebe calor. ($Q > 0$)
- No esfriamento **AE** do gás, o trabalho realizado é nulo.



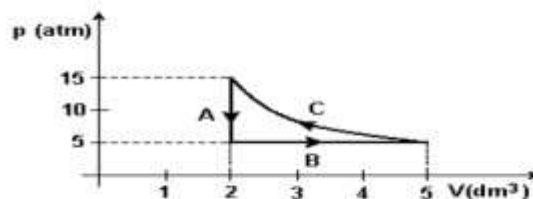
8.b. Considerando o diagrama a seguir calcule o trabalho realizado no ciclo?



8.c.. O gás que circula num compressor de geladeira executa um ciclo termodinâmico no sentido anti-horário como o apresentado na figura a seguir:

Sabendo que a transformação C é adiabática, considere as seguintes afirmativas e indique a (s) verdadeira (s):

- A transformação A ocorre a volume constante e nenhum trabalho é realizado.
- A transformação B é isobárica e o meio externo realiza trabalhos sobre o gás.
- Não há trocas de calor na transformação C.
- A temperatura na transformação C é constante.



9. Texto para as questões a, b, c, d, e:

Apenas a “passagem de ida” ou o sentido do tempo

A primeira lei da termodinâmica considera que a energia total do universo mantém-se constante. Esse total corresponde a diversas parcelas de energia que podem se transformar umas nas outras: energia química transforma-se em cinética, em térmica; energia potencial de interação gravitacional transforma-se em cinética, em elétrica, etc. Isso significa que a primeira lei não faz nenhuma restrição à transformação de energia; para ela, todas as transformações de energia são possíveis.

A análise do funcionamento da máquina a vapor, entretanto, comprovou que boa parte da energia térmica presente na máquina não se transforma em trabalho, mas é transferida ao ambiente, perdendo sua utilidade. Esse fato complementa a primeira lei da termodinâmica porque, ainda que a idéia de conservação fosse extremamente importante nas diversas transformações de um tipo de energia em outro, alguma coisa se perde.

O aprimoramento da máquina a vapor nos séculos XVIII e XIX possibilitou que seu rendimento melhorasse muito. Em 1824, o engenheiro francês Nicolas Léonard **Sadi Carnot** (1796-1832) publicou um estudo sobre a máquina a vapor em que propunha um limite para esse rendimento inferior a 100%. Isso significava que a máquina não podia produzir mais que uma certa quantidade de trabalho. Segundo Carnot, o máximo de rendimento ($\eta_{\text{máx.}}$), obtido quando ela operasse com eficiência perfeita, resultaria do quociente da diferença de temperatura entre a parte mais quente da máquina (T_1) e a parte mais fria (T_2) dividido pela temperatura da parte mais quente, ou seja,

$$\eta_{\text{máx.}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

Nessa expressão, as temperaturas devem estar em Kelvin. Note que o rendimento pode ser no máximo 1; isto é, 100% se T_2 for zero Kelvin, o que, na prática, é impossível.



Figura 19: Sadi Carnot.

Representada no diagrama da pressão pelo volume, essa máxima eficiência corresponderia a um ciclo fechado e reversível, constituído de duas transformações isotérmicas (que mantêm a temperatura constante) e duas adiabáticas (em que não há transferência de energia, na forma de calor, para o ambiente), intercaladas entre si (figura 20).

O estudo de Carnot tornou evidente uma questão importante: embora a quantidade de energia total se mantenha constante, na transformação de energia operada pela máquina a vapor, verifica-se que parte da energia não pode ser mais aproveitada, pois dissipa-se no ambiente exterior. Isso ocorre porque, como o ambiente está a uma temperatura menor que a da máquina, os objetos mais quentes aquecem espontaneamente os mais frios. Porém, é justamente essa diferença de temperatura que possibilita a realização de trabalho.

No motor do automóvel, por exemplo, a mistura de ar e combustível é comprimida à temperatura ambiente. Com a explosão da mistura, a temperatura dos gases produzidos eleva-se consideravelmente, provocando um aumento muito grande da pressão, o que possibilita a realização de trabalho por esses gases. Para iniciar outro ciclo, os gases são expelidos e lançados ao meio, que sofre aquecimento ao receber matéria em temperatura mais elevada.

O fato de os objetos mais quentes aquecerem os mais frios é uma manifestação da **irreversibilidade** dos processos de certos fenômenos que observamos no universo, como a vida dos seres, cujo processo vai do nascimento à morte.

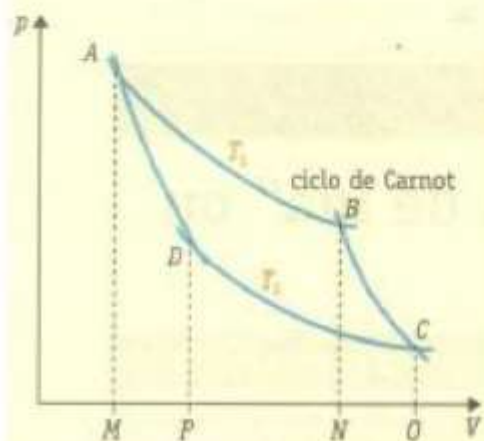


Figura 20: Ao lado das curvas das transformações isotérmicas, aparecem suas temperaturas.

A diminuição gradativa da energia disponível para realização de trabalho também confirma o fato de que nem todas as transformações de energia são reversíveis. No final do século XIX, o físico e matemático escocês William Thomson (1824-1907) previu, com base na ideia da diminuição da energia disponível, que todos os objetos adquiririam a mesma temperatura, o que tornaria impossível produzir trabalho mecânico como resultado da transferência de energia na forma de calor. Essa análise provocou o surgimento de previsões catastróficas acerca do fim da vida na Terra, do esfriamento do Sol, influenciando a literatura, a pintura, a história, etc.



O impasse surgido com os trabalhos de Carnot foi resolvido com a **segunda lei da termodinâmica**, também entendida como uma lei geral da natureza, que indica o sentido das transformações de energia possíveis e, assim, expressa a irreversibilidade dos processos de alguns fenômenos da natureza. Na verdade, vários físicos chegaram à segunda lei; cada um enunciou-a de uma forma. Mas, do ponto de vista da física, os enunciados possíveis são equivalentes. Um deles diz que a tendência de os objetos mais quentes aquecerem os mais frios torna impossível obter uma quantidade máxima de trabalho de uma certa quantidade de energia, na forma de calor.

Figura 21: Clausius.



Figura 22: Boltzmann.

Um dos físicos que contribuíram para a formulação da segunda lei da termodinâmica foi o alemão Rudolf Julius Emmanuel **Clausius**, que viveu entre 1822 e 1888. Ele introduziu o conceito de **entropia**, que representa a medida da quantidade de energia disponível que se transforma em energia não disponível. Quanto maior for a entropia, menor será a quantidade de energia disponível.

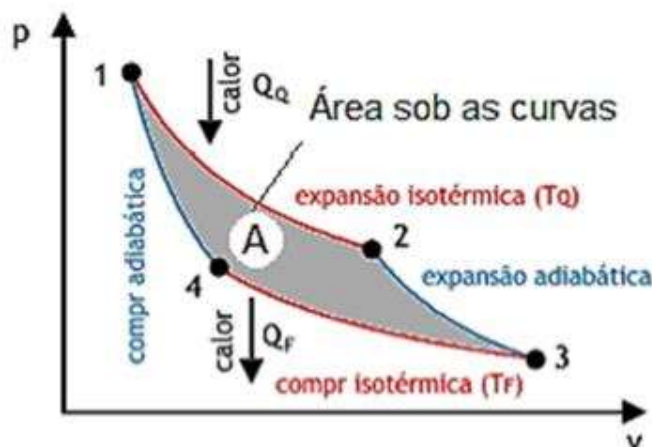
Em 1878, o conceito de entropia foi reformulado pelo físico austríaco Ludwig **Boltzmann**. Para ele, a entropia era uma medida da desordem do universo. De acordo com essa concepção, um litro de gasolina representa um estado organizado de moléculas na forma de energia química, e os gases resultantes de sua queima no interior do cilindro indicam a transformação para um estado mais desorganizado das moléculas. A esse estado de maior desorganização correspondia um aumento da entropia.

Questões

- No que consiste a primeira lei da termodinâmica?
- Qual é a principal contribuição de Carnot para a compreensão da máquina a vapor?
- Qual é o papel exercido pela fonte fria no funcionamento de uma máquina térmica? Considere, por exemplo, o motor do automóvel.
- Caracterize as duas idéias essenciais contidas na segunda lei da termodinâmica.
- É pouco provável que, num baralho já manipulado por jogadores, as cartas estejam ordenadas. Que conceito físico nos ajuda a compreender esse fenômeno?

10. O físico e engenheiro francês Nicolas Leonard Sadi Carnot (1796-1832), em seu trabalho *Reflexões sobre a potência motriz do fogo*, concluiu que as máquinas térmicas ideais podem atingir um rendimento máximo por meio de uma sequência específica de transformações gasosas que resultam num ciclo – denominado de *ciclo de Carnot*, conforme ilustra a figura a seguir.

A partir das informações do ciclo de Carnot sobre uma massa de gás, conforme mostrado no gráfico $P \times V$, analise as alternativas a seguir.



- I. Ao iniciar o ciclo (expansão isotérmica $1 \rightarrow 2$), a variação de energia interna do gás é igual a Q_q e o trabalho é positivo ($W > 0$).
- II. Na segunda etapa do ciclo (expansão adiabática $2 \rightarrow 3$) não há troca de calor, embora o gás sofra um resfriamento, pois $\Delta U = -W$.
- III. Na compressão adiabática $4 \rightarrow 1$, última etapa do ciclo, o trabalho realizado sobre o gás corresponde à variação de energia interna dessa etapa e há um aquecimento, ou seja, $\Delta U = +W$.
- IV. O trabalho útil realizado pela máquina térmica no ciclo de Carnot é igual à área A ou, de outro modo, dado por $\tau = Q_q - Q_f$.
- V. O rendimento da máquina térmica ideal pode atingir até 100 %, pois o calor Q_f pode ser nulo – o que não contraria a segunda lei da termodinâmica.

Estão **CORRETAS** apenas as alternativas: