

Textos Explicativos

Termodinâmica

Material de apoio para a Lista de Exercícios — Leis da Termodinâmica, energia cinética dos gases, rendimento, ciclo de Carnot, entropia e motores de combustão interna

1. Primeira Lei da Termodinâmica

Questões relacionadas: 1 e 2

A Primeira Lei da Termodinâmica é a expressão da conservação de energia aplicada a sistemas térmicos: a energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada. Ela relaciona a variação da energia interna de um sistema com o calor trocado e o trabalho realizado.

$$\Delta U = Q - W$$

Nessa fórmula, ΔU é a variação da energia interna do sistema (em joules), Q é o calor trocado com o meio (positivo quando o sistema recebe calor, negativo quando cede) e W é o trabalho realizado pelo sistema sobre o meio (positivo quando o sistema se expande e realiza trabalho, negativo quando é comprimido). Em outras palavras: parte do calor recebido por um sistema pode ser usada para realizar trabalho, e o restante fica armazenado como energia interna.

Exemplo prático: um gás recebe 500 J de calor de uma fonte térmica e realiza um trabalho de 200 J sobre o ambiente. A variação da energia interna é $\Delta U = Q - W = 500 - 200 = 300 \text{ J}$.

2. Teoria Cinética dos Gases: Temperatura, Energia Cinética e Transformação Isotérmica

Questões relacionadas: 3 e 8

A teoria cinética dos gases explica as propriedades macroscópicas de um gás (como pressão e temperatura) a partir do movimento de suas moléculas. Um dos resultados centrais dessa teoria é que a temperatura absoluta de um gás está diretamente relacionada à energia cinética média de suas moléculas.

$$E_{c_m\acute{e}dia} = (3/2) \cdot k \cdot T$$

Nessa fórmula, $E_{c_m\acute{e}dia}$ é a energia cinética média de translação das moléculas (em joules), k é a constante de Boltzmann e T é a temperatura absoluta do gás (em kelvin). Quanto maior a temperatura, maior a agitação (velocidade média) das moléculas do gás — a temperatura é, essencialmente, uma medida da energia cinética média das partículas que compõem o sistema.

Como a energia interna de um gás ideal é a soma da energia cinética de todas as suas moléculas, ela depende exclusivamente da temperatura do gás. Isso tem uma consequência importante: em uma transformação isotérmica (na qual a temperatura permanece constante), a energia interna do gás não varia ($\Delta U = 0$), mesmo que o gás troque calor e realize trabalho com o ambiente. Nesse caso, todo o calor recebido pelo gás é convertido integralmente em trabalho realizado por ele ($Q = W$).

3. Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia

Questão relacionada: 6

A Segunda Lei da Termodinâmica estabelece limites e direções para os processos térmicos que a Primeira Lei, sozinha, não impõe. Existem diferentes enunciados clássicos para essa lei: pelo enunciado de Clausius, é impossível que o calor flua espontaneamente de um corpo mais frio para um corpo mais quente sem a realização de trabalho externo; pelo enunciado de Kelvin-Planck, é impossível construir uma máquina térmica que converta integralmente calor em trabalho ao longo de um ciclo completo.

Essa lei está diretamente ligada ao conceito de entropia, uma grandeza que mede o grau de desordem (ou de dispersão de energia) de um sistema. Segundo a Segunda Lei, a entropia do universo tende sempre a aumentar (ou, no máximo, permanecer constante) em qualquer processo espontâneo — é por isso que processos térmicos têm uma direção natural (o calor flui do quente para o frio, e não o contrário) e não podem ser revertidos espontaneamente sem custo energético.

4. Rendimento de Máquinas Térmicas e Ciclo de Carnot

Questões relacionadas: 4, 5, 7 e 10

Uma máquina térmica é um dispositivo que converte calor em trabalho, retirando calor de uma fonte quente e rejeitando parte dele para uma fonte fria. O rendimento dessa máquina indica qual fração do calor recebido é efetivamente convertida em trabalho útil.

$$\eta = W / Q_q = (Q_q - Q_f) / Q_q$$

Nessa fórmula, η é o rendimento (entre 0 e 1, ou em porcentagem), W é o trabalho realizado por ciclo, Q_q é o calor recebido da fonte quente e Q_f é o calor rejeitado para a fonte fria.

O ciclo de Carnot é um modelo teórico que representa o maior rendimento possível para uma máquina térmica operando entre duas temperaturas fixas — nenhuma máquina real pode superá-lo. Seu rendimento máximo depende apenas das temperaturas absolutas das fontes quente (T_q) e fria (T_f):

$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - (T_f / T_q)$$

Como T_f nunca pode ser igual a 0 kelvin (o zero absoluto é inatingível na prática, segundo a Terceira Lei da Termodinâmica), o rendimento de Carnot é sempre menor que 100% — e, portanto, nenhuma máquina térmica real, mesmo em condições ideais, pode atingir 100% de rendimento: toda máquina térmica precisa necessariamente rejeitar parte do calor recebido para uma fonte fria.

Exemplo 1 — rendimento de Carnot: uma máquina opera entre 600 K e 300 K. $\eta_{\text{Carnot}} = 1 - 300/600 = 0,5 = 50\%$.

Exemplo 2 — rendimento real: uma máquina retira 800 J da fonte quente e rejeita 500 J para a fonte fria. $\eta = (800 - 500)/800 = 0,375 = 37,5\%$; o trabalho realizado por ciclo é $W = Q_q - Q_f = 800 - 500 = 300 \text{ J}$.

Exemplo 3 — calor a partir do rendimento: um motor realiza 300 J de trabalho por ciclo com rendimento de 25%. Isolando na fórmula, $Q_q = W/\eta = 300/0,25 = 1200 \text{ J}$, e o calor rejeitado é $Q_f = Q_q - W = 1200 - 300 = 900 \text{ J}$.

5. Motor de Combustão Interna de Quatro Tempos

Questão relacionada: 9

O motor de combustão interna de quatro tempos é uma aplicação prática direta dos conceitos da termodinâmica, funcionando em um ciclo repetido de quatro etapas dentro do cilindro:

Admissão: a mistura de ar e combustível entra no cilindro, ainda sem troca de calor relevante. **Compressão:** o pistão comprime a mistura, realizando trabalho sobre o gás (trabalho do gás negativo), o que aumenta sua energia interna, pressão e temperatura. **Explosão/expansão:** a combustão da mistura libera calor para o gás (Q positivo), que se expande e realiza trabalho sobre o pistão (W positivo) — é essa etapa que fornece a potência útil ao motor. **Escape:** os gases residuais, ainda quentes, são expelidos do cilindro, liberando calor para o ambiente (Q negativo), antes que o ciclo recomece.

Cada uma dessas etapas pode ser analisada pela Primeira Lei da Termodinâmica ($\Delta U = Q - W$), mostrando como o motor converte a energia liberada na queima do combustível em trabalho mecânico, com uma parte inevitável dessa energia sendo perdida como calor — exatamente como previsto pela Segunda Lei.