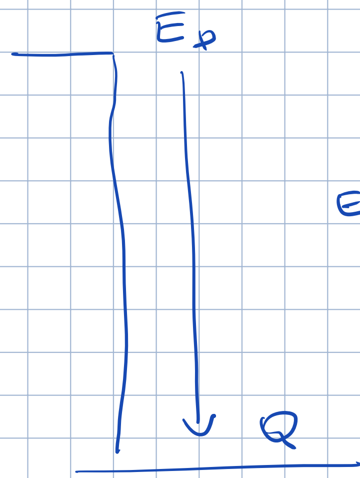
Exemplo

Qual a elevação da temperatura de uma massa de água de 10 kg que cai de uma altura de 850 m? O calor específico da água é 4190 J/kgK.



$E_p = Q$

$E_p = m \cdot g \cdot h$

$E_p = 10 \cdot 9{,}8 \cdot 850$

$E_p = 8{,}33 \times 10^4 \text{ J}$

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

$8{,}33 \times 10^4 = 10 \cdot 4190 \cdot \Delta T$

$\Delta T = \dfrac{8{,}33 \times 10^4}{10 \cdot 4190}$

$\Delta T = 2{,}0\ °C$

Exemplo

Para transformar um sundae com calda quente de 900 calorias alimentares em energia, você pretende deixar de usar a escada rolante. Sabendo que 1 caloria alimentar é igual a 1 kcal, qual a altura que você deve subir para 'queimar essas calorias' e manter seu peso atual?

70 kg

$1\ cal = 4{,}19\ J$

$Q = 900\ kcal \Rightarrow Q = 9{,}0 \times 10^5\ cal$

$Q = 9{,}0 \times 10^5 \times 4{,}19 \Rightarrow Q = 3{,}77 \times 10^6\ J$

$Q = E_p$

$E_p = m \cdot g \cdot h$

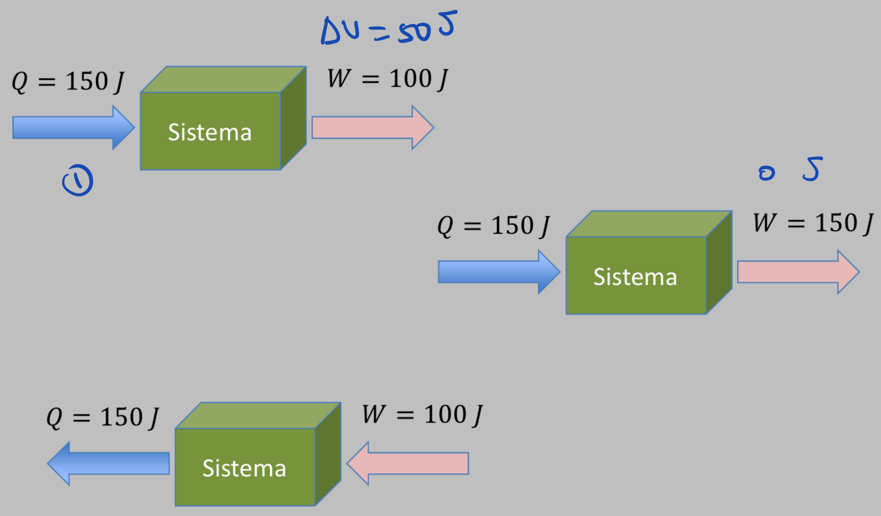
$3{,}77 \times 10^6 = 70 \cdot 9{,}8 \cdot h$

$h = \dfrac{3{,}77 \times 10^6}{70 \cdot 9{,}8} \Rightarrow h = 5{,}50 \times 10^3\ m$

$h = 5{,}5\ km$

Exemplos

- Determine a variação da energia interna (ΔU) nos seguintes casos:

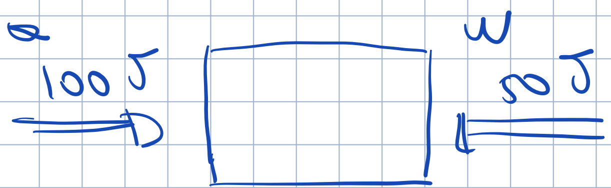


① $Q = \Delta U + W$

$150 = \Delta U + 100 \Rightarrow \Delta U = 50\ J$

② $100 = \Delta U + 150 \Rightarrow \Delta U = 0\ J$

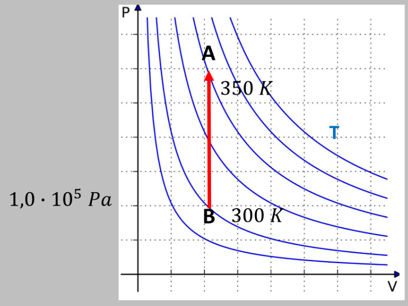
③ $-150 = \Delta U - 100 \Rightarrow \Delta U = -50\ J$



$Q = \Delta U + W$

$100 = \Delta U - 50 \Rightarrow \Delta U = 150\ J$

- Dois mols de metano inicialmente a 300 K e 1,0 x 10^5 Pa, foram aquecidos até 350 K em um recipiente hermético e isolado. Determine a nova pressão e a quantidade de calor aplicada.



$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \Rightarrow \frac{1{,}0 \times 10^5}{300} = \frac{P_2}{350} \Rightarrow P_2 = 1{,}17 \times 10^5 \text{ P}$$

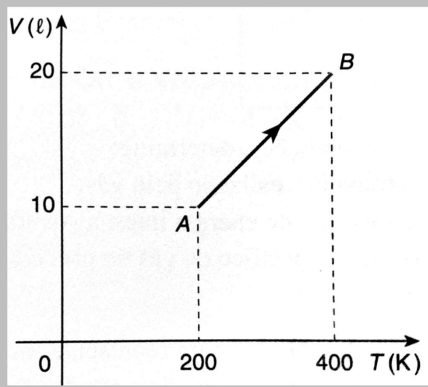
$$Q_v = n \cdot C_v \cdot \Delta T$$

$$Q_v = 2 \cdot 1{,}7354 \times 10^3 \times (350 - 300)$$

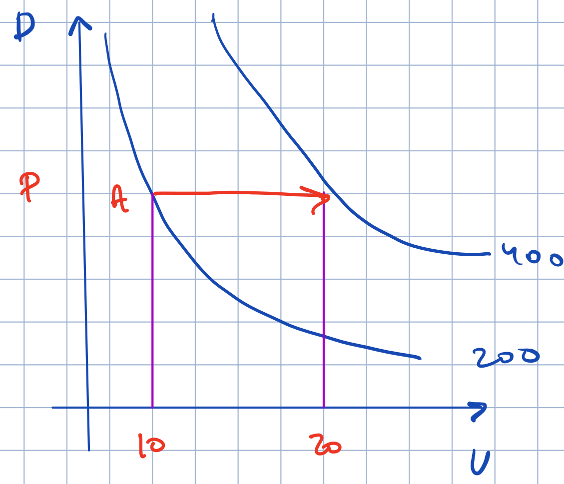
$$Q_v = 1{,}74 \times 10^5 \text{ J} = 174 \text{ kJ}$$

Exemplo

- 5,0 mols de um gás perfeito sofrem uma transformação isobárica descrita no gráfico abaixo. Determine:
  - a pressão do gás
  - o trabalho realizado no processo
  - a variação da energia interna do gás
  - a quantidade de calor que o gás troca com o ambiente
  - o calor molar do gás a temperatura constante



$R = 8{,}31\ J/molK$



$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow \frac{10 \cdot 10^{-3}}{200} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{400}$$

- Pressão do gás (mesma em A e B)

$PV = n . R . T$

$$A \Rightarrow \quad P = \frac{5{,}0 \cdot 8{,}31 \cdot 200}{10 \times 10^{-3}} \Rightarrow P = 8{,}31 \times 10^{5}\ Pa$$

$$B \Rightarrow \quad P = \frac{5{,}0 \cdot 8{,}31 \cdot 400}{20 \times 10^{-3}} \Rightarrow P = 8{,}31 \times 10^{5}\ Pa$$

- Trabalho realizado pelo gás

$$W = P \cdot \Delta V \Rightarrow W = 8{,}31 \times 10^{5}\,(20-10) \cdot 10^{-3} \Rightarrow W = 8{,}31 \times 10^{3}$$

- Variação da energia interna

$$\Delta U = \frac{3}{2} . n . R . \Delta T \Rightarrow \Delta U = \frac{3}{5} \cdot 5{,}0 \cdot 8{,}31 \cdot (400-200) \Rightarrow \Delta U = 1{,}25 \times 10^{4}\ J$$

- Quantidade de calor

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = 1{,}25 \times 10^{4} + 8{,}31 \times 10^{3}$$

$$Q = 2{,}08 \times 10^{4} \text{ J}$$

- Calor específico molar (C_p)

$$Q_p = n \cdot C_p \cdot \Delta T$$

$$C_p = \frac{Q_p}{n \cdot \Delta T} \Rightarrow C_p = \frac{2{,}08 \times 10^{4}}{5{,}0 \cdot 200}$$

$$C_p = 20{,}8 \ \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$$

Exemplo

- Certa massa de gás perfeito troca com o meio ambiente 100 calorias, na forma de calor. Sendo 1 cal=4,19 J, determine:
  - a) o trabalho trocado entre o gás e o meio, expresso em Joules, se sua transformação é uma expansão isotérmica
  - b) o trabalho trocado entre o gás e o meio, expresso em Joules, se sua transformação é uma compressão isotérmica
  - c) a variação da energia interna nas condições anteriores

$Q = \Delta U + W$

a) $Q = \underbrace{\Delta U}_{0} + W$

$Q = W \Rightarrow W = 100 \text{ cal}$

$W = 100 \cdot 4{,}19$

$W = 419 \text{ J}$ ⊕ Expansão

b) $W = -419 \text{ J}$ ⊖ compressão

c) $\Delta U = 0$

Exemplo

- Em uma transformação adiabática um gás executa um trabalho de 800 J. Pergunta-se
  a. Ocorreu expansão ou contração do gás?
  b. Qual a quantidade de calor trocada com o meio?
  c. Qual a variação da energia interna do gás?
  d. O que aconteceu com as variáveis P, V e T?

a) $W = 800\,J$ $\quad W > 0 \therefore$ expansão

W realizado <u>pelo</u> gás

b) $Q = 0$ (adiabática)

c) $Q = \Delta U + W \Rightarrow 0 = \Delta U + W$

$\Delta U = -W$

$\Delta U = -800\,J$

$\therefore$ a energia interna diminuiu 800J

d) P, V, T

Como $W > 0$, V aumentou $\quad V_2 > V_1$

como $\Delta U < 0$, T diminuiu $\quad T_2 < T_1$

Como $\frac{PV}{T}$ é constante: $\left(\frac{PV}{T} = nR\right)$

$$P_1 \frac{V_1}{T_1} = P_2 \downarrow \frac{V_2 \uparrow}{T_2 \downarrow} \uparrow \qquad \frac{V_2}{T_2} > \frac{V_1}{T_1}$$

$$\frac{30}{5} \quad \frac{60}{2}$$

6 $\quad$ 30

Exemplo

- Um gás perfeito ocupa o volume de 8 litros sob pressão de 2 atm. Após uma transformação adiabática, o volume do gás passou a 2 litros. Sendo o expoente de Poisson γ = 1,5, determine a nova pressão do gás.

$$P_1 V_1^{\gamma} = P_2 V_2^{\gamma}$$

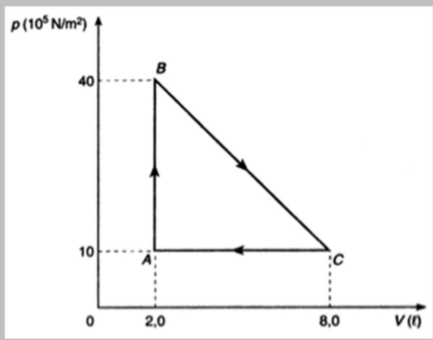
$$P_2 = \frac{P_1 V_1^{\gamma}}{V_2^{\gamma}}$$

$$P_2 = \frac{2 \cdot 8^{1,5}}{2^{1,5}}$$

$$P_2 = 16 \text{ atm}$$

Exemplo

- O diagrama P x V abaixo mostra um ciclo realizado por uma certa massa de um gás perfeito.



Calcule:

a) a variação da energia interna do gás, ΔU.

b) o trabalho realizado no ciclo, W.

c) a quantidade de calor trocada com o meio, Q.

d) nesse ciclo o calor é transformado em trabalho ou vice-versa?

a) $\Delta U = 0$ pois $\Delta T = 0$

b) $W \equiv A$ $\qquad A = \frac{B \cdot h}{2}$ $\qquad$ (sentido horário)

$$A = \frac{(8-2)\times 10^{-3} \cdot (40-10) \cdot 10^{5}}{2} = 9{,}0\times 10^{3}$$

$$\therefore \quad Q = 9{,}0 \times 10^{3}\ J$$

c) $Q = \Delta U + W$

$Q = 0 + 9{,}0\times 10^{3}\ J$

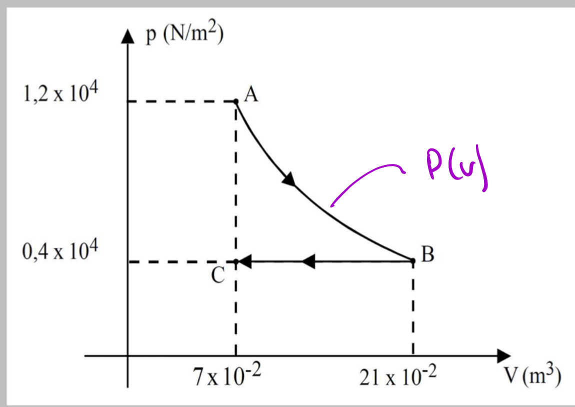
$Q = 9{,}0 \times 10^{3}\ J$

d) Ciclo horário $\Rightarrow$ trabalho produzido na expansão é maior que o consumido na compressão. Há saldo de trabalho. O calor é transformado em trabalho

Exemplo

Um mol de certo gás ideal sofre a transformação que está indicada no diagrama P x V, conforme mostra a figura abaixo. Dado R = 8,3 J/molK, determine:

a) A temperatura deste mol do gás no estado B;
b) O trabalho realizado pelo gás na contração B -> C;
c) O trabalho aproximado na expansão A -> B;
d) A variação da energia interna na expansão A -> B;
e) A variação da energia interna na contração B -> C.



a) Em B temos:

$V = 21 \times 10^{-2}\ m^3$ e $P = 0{,}4 \times 10^4\ Pa$

$PV = n.R.T$

$0{,}4 \cdot 10^4 \cdot 21 \cdot 10^{-2} = 1 \cdot 8{,}3 \cdot T$

$T = \dfrac{0{,}4 \cdot 10^4 \cdot 21 \cdot 10^{-2}}{1 \cdot 8{,}3} \Rightarrow T = 1{,}01 \times 10^2\ K$

em A $\Rightarrow$ $T = \dfrac{1{,}2 \cdot 10^4 \cdot 7 \times 10^{-2}}{8{,}3} \Rightarrow T = 1{,}01 \times 10^2\ K$

$T_A = T_B$ $\therefore$ Transformação isotérmica

b) $W_{B-C} \equiv A_{ret} \Rightarrow$ $A = (7-21) \cdot 10^{-2} \cdot 0{,}4 \cdot 10^4 = -5{,}6 \times 10^2$

$W_{B-C} = -5{,}6 \times 10^4\ J$ (compressão)

c) $W_{AB} \cong A_{trap}$

$$W = \frac{1{,}2 \times 10^4 + 0{,}4 \times 10^4}{2} \cdot (21-7) \times 10^{-2}$$

$$W = 1{,}12 \times 10^3 \text{ J}$$

$$W_{A\to B} = \int_7^{21} P(V)\, dV$$

d) $\Delta U_{A\to B} = 0$ pois $T_A = T_B$

e) T_C

$$PV = nRT_C$$

$$T_C = \frac{0{,}4 \times 10^4 \cdot 7 \times 10^{-2}}{1 \cdot 8{,}3}$$

$$T_C = 33{,}7 \text{ K}$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot 8{,}3 \cdot (33{,}7 - 101) \Rightarrow \Delta U = -837 \text{ J}$$

ou

$$U = \frac{3}{2} \cdot P \cdot V$$

$$U_B = \frac{3}{2} \cdot 0{,}4 \times 10^4 \cdot 21 \cdot 10^{-2} = 12{,}6 \cdot 10^2 \text{ J}$$

$$U_C = \frac{3}{2} \cdot 0{,}4 \times 10^4 \cdot 7 \cdot 10^{-2} = 4{,}2 \cdot 10^2 \text{ J}$$

$$\Delta U = (4{,}2 - 12{,}6) \cdot 10^2 \Rightarrow \Delta U = -8{,}4 \times 10^2 \text{ J}$$