

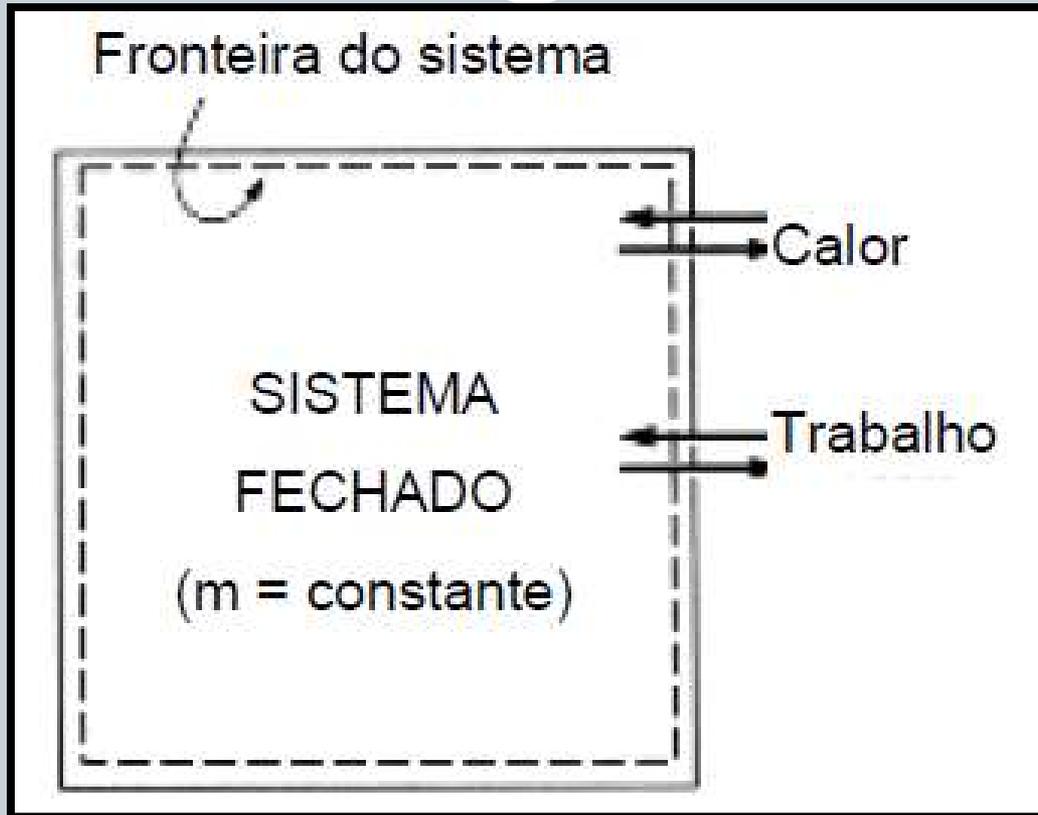
TERMODINÂMICA APLICADA



CAPÍTULO 3

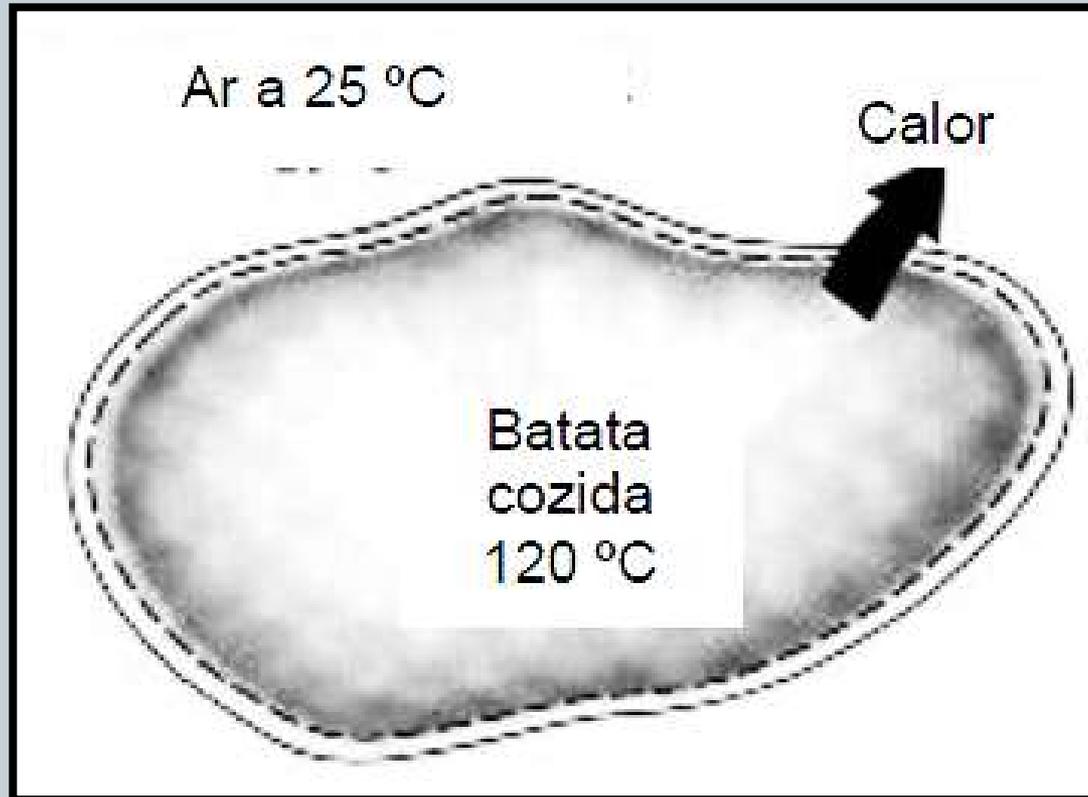
PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA: SISTEMAS FECHADOS

Primeira Lei da Termodinâmica



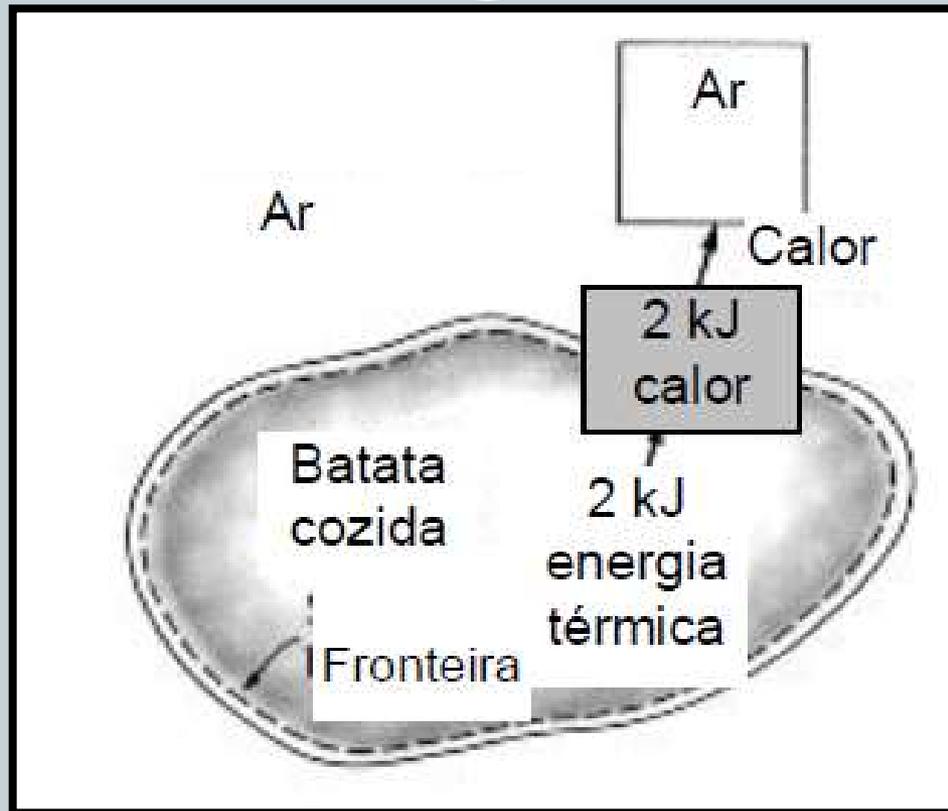
A Energia pode atravessar a fronteira de um sistema fechado na forma de Calor e/ou Trabalho.

Transferência de calor



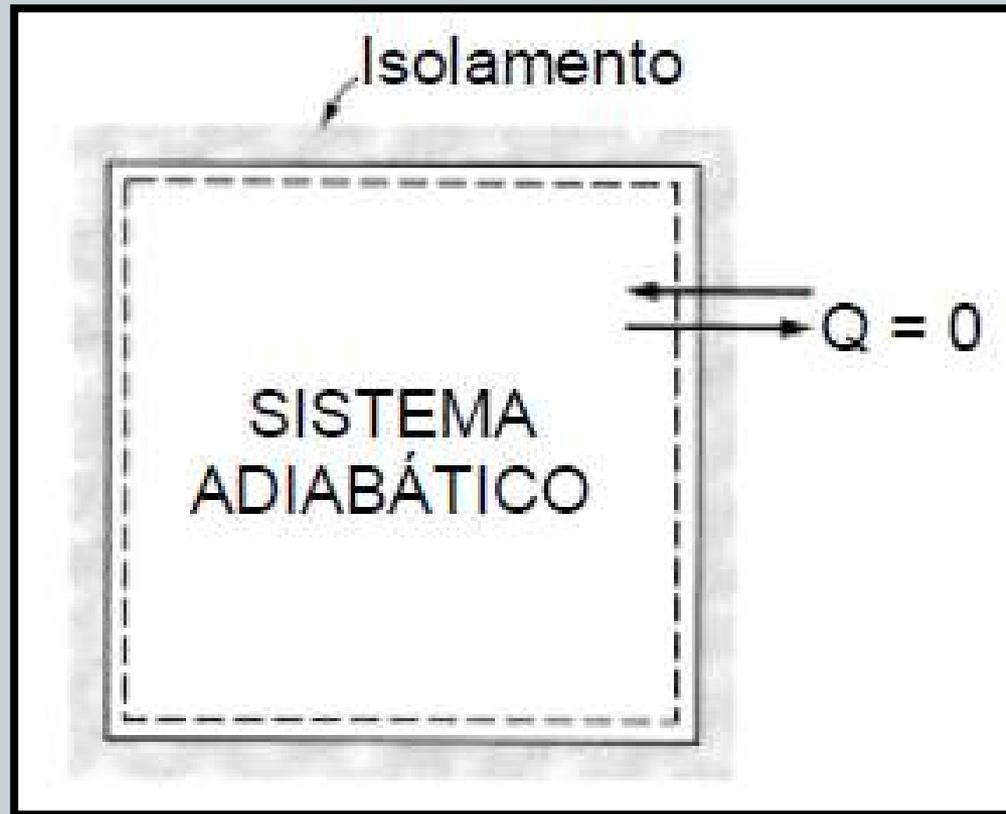
O Calor é transferido dos corpos mais quentes para os corpos menos quentes devido à existência de um diferencial de Temperatura

Transferência de calor



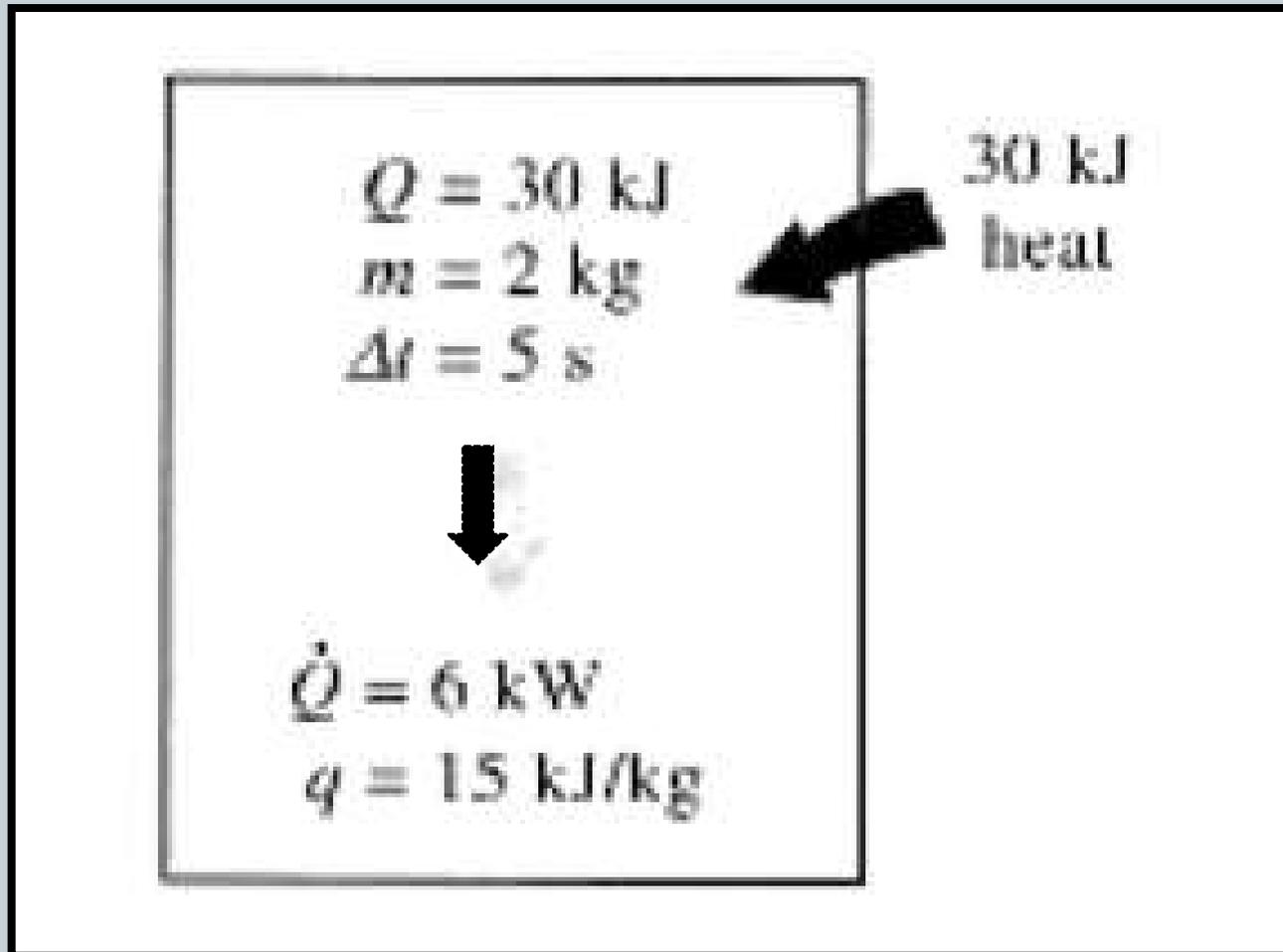
A Energia é reconhecida como Calor apenas no momento em que atravessa a Fronteira

Sistema Adiabático

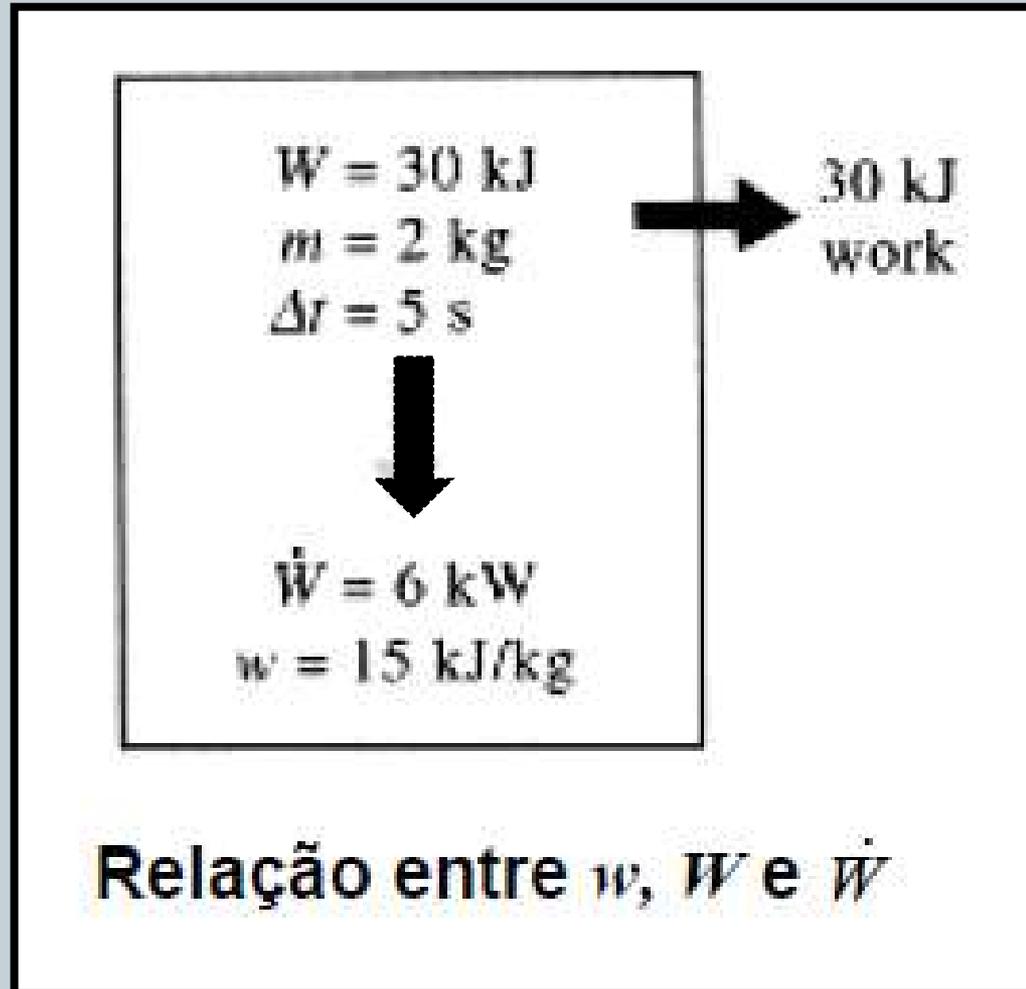


Durante um processo Adiabático, não existe transferência de Calor entre o Sistema e os Arredores

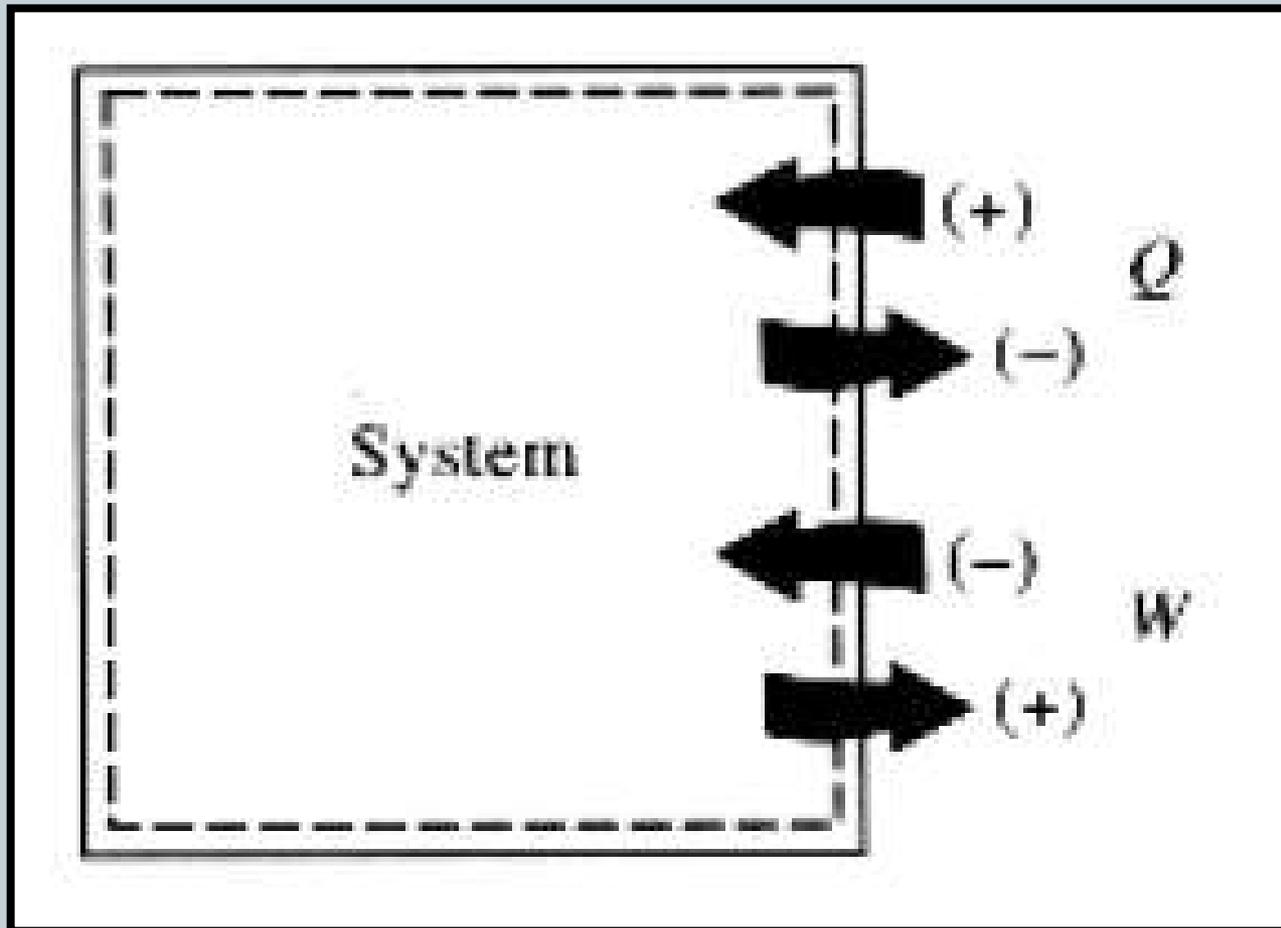
Relação entre q , Q e \dot{Q}



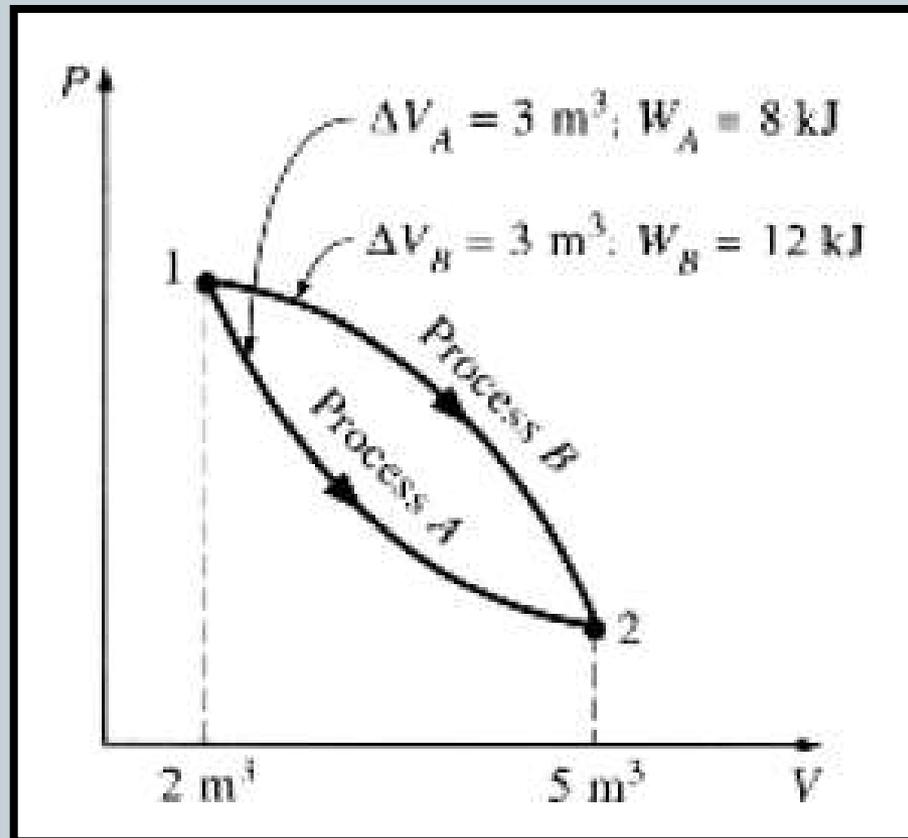
Relação entre w , W e \dot{W}



Convenção de Sinais para Trabalho e para o Calor

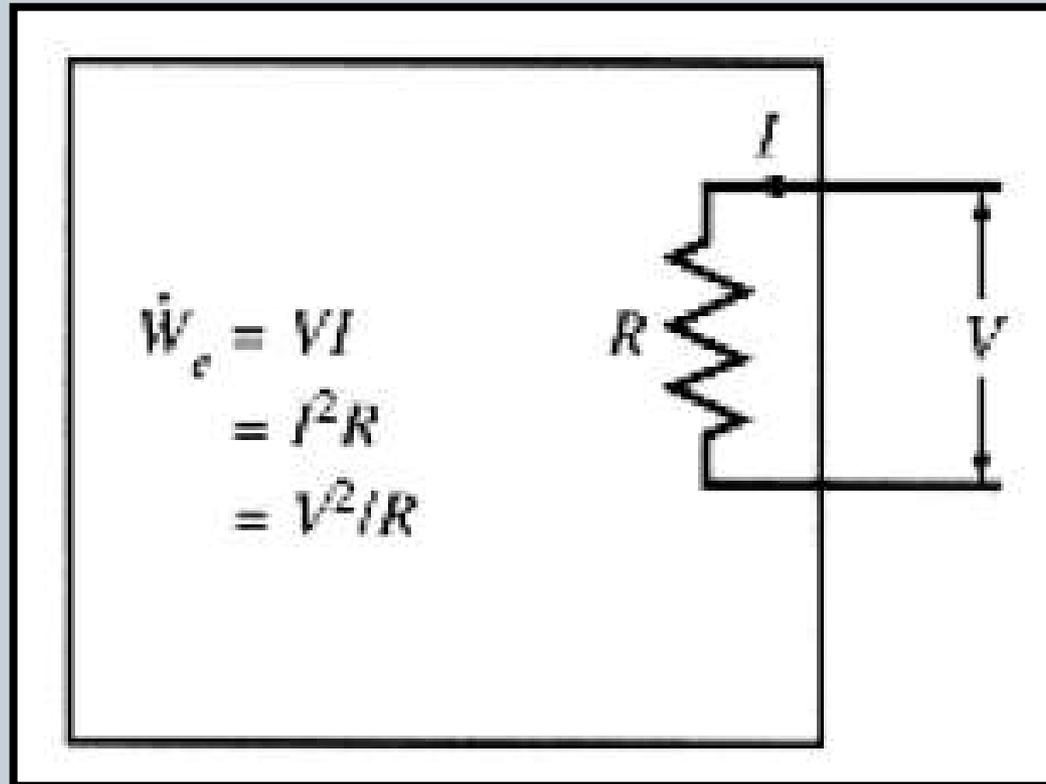


Funções de Percurso



As propriedades são funções pontuais, mas o Calor e o Trabalho dependem do caminho que o Processo segue

Trabalho Elétrico



Potência elétrica em ordem à resistência R , corrente I e diferença de potencial V

Trabalho Mecânico

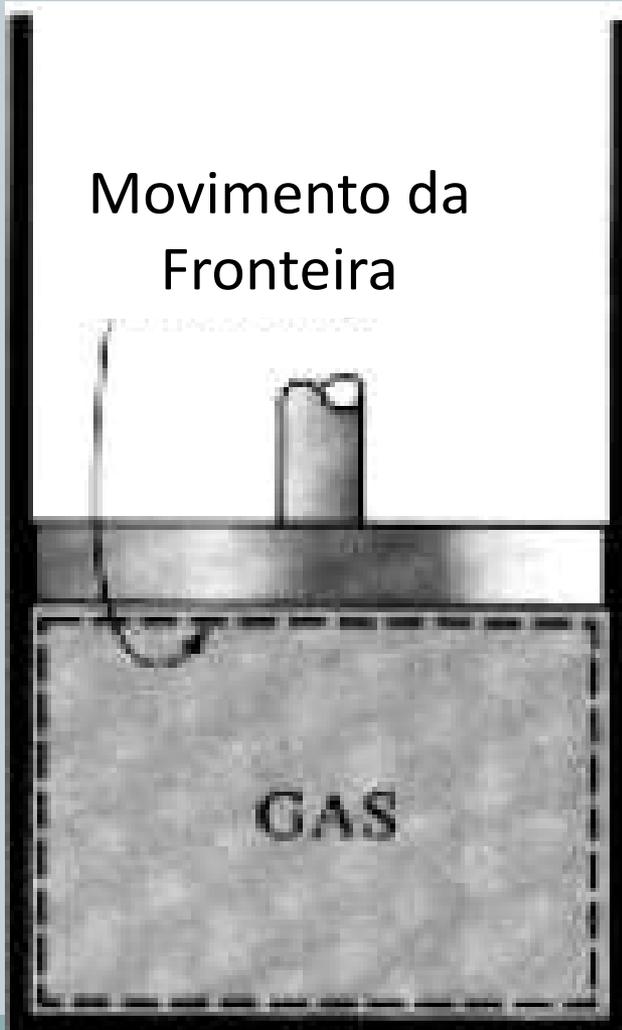


Se não houver Movimento, não há Trabalho realizado

Trabalho da Fronteira



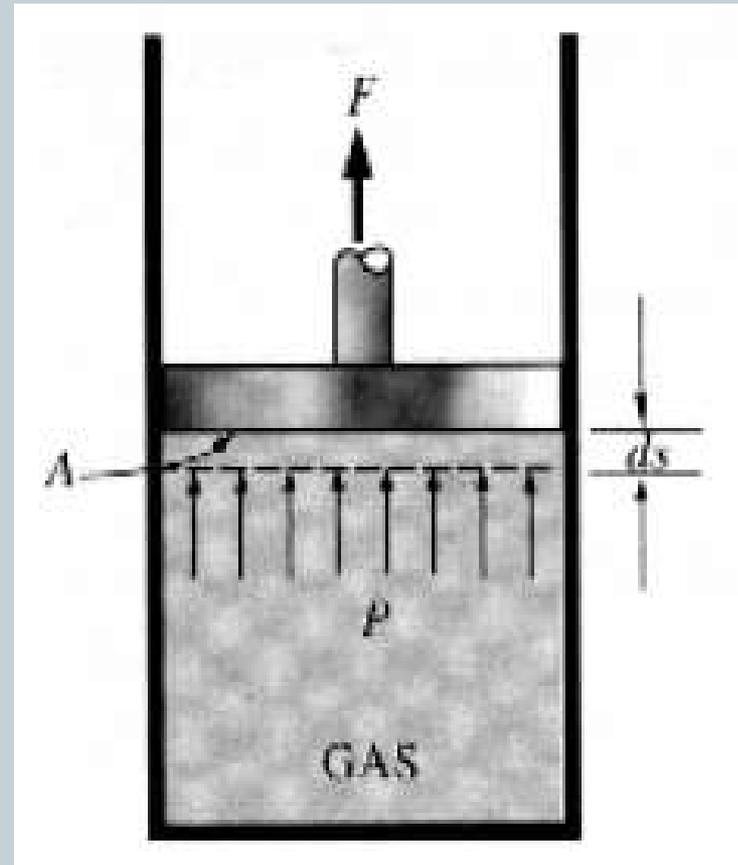
Movimento da
Fronteira



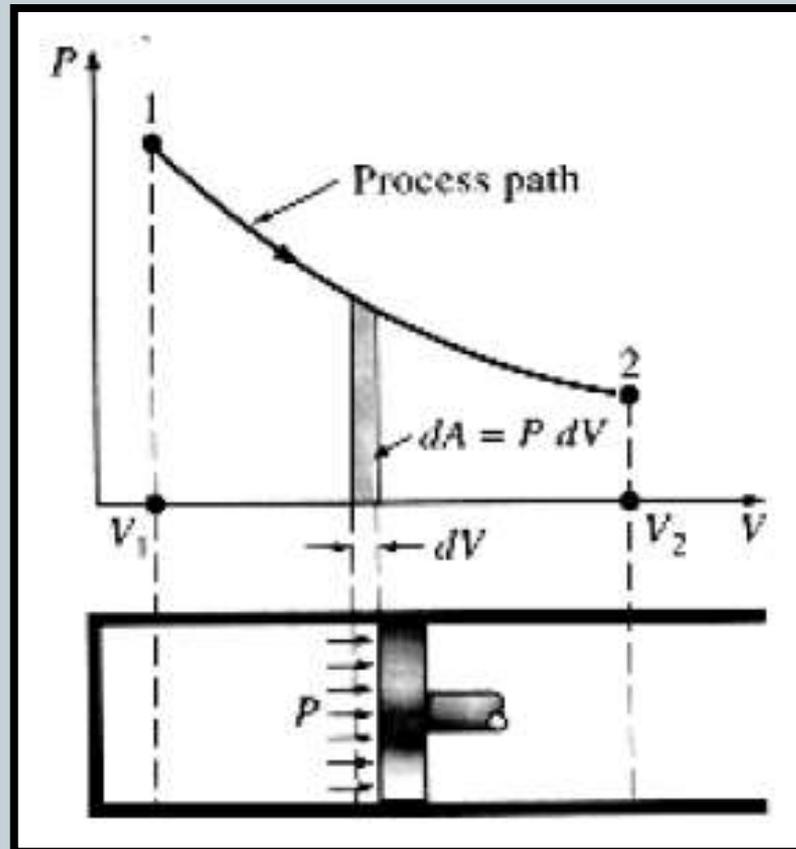
Ao Trabalho associado a movimento de uma fronteira chama-se *“Trabalho da Fronteira”*

Gás dentro de um cilindro com pistão

O gás promove uma quantidade diferencial de trabalho δW_b à medida que a força obriga o pistão a mover-se (um diferencial ds)

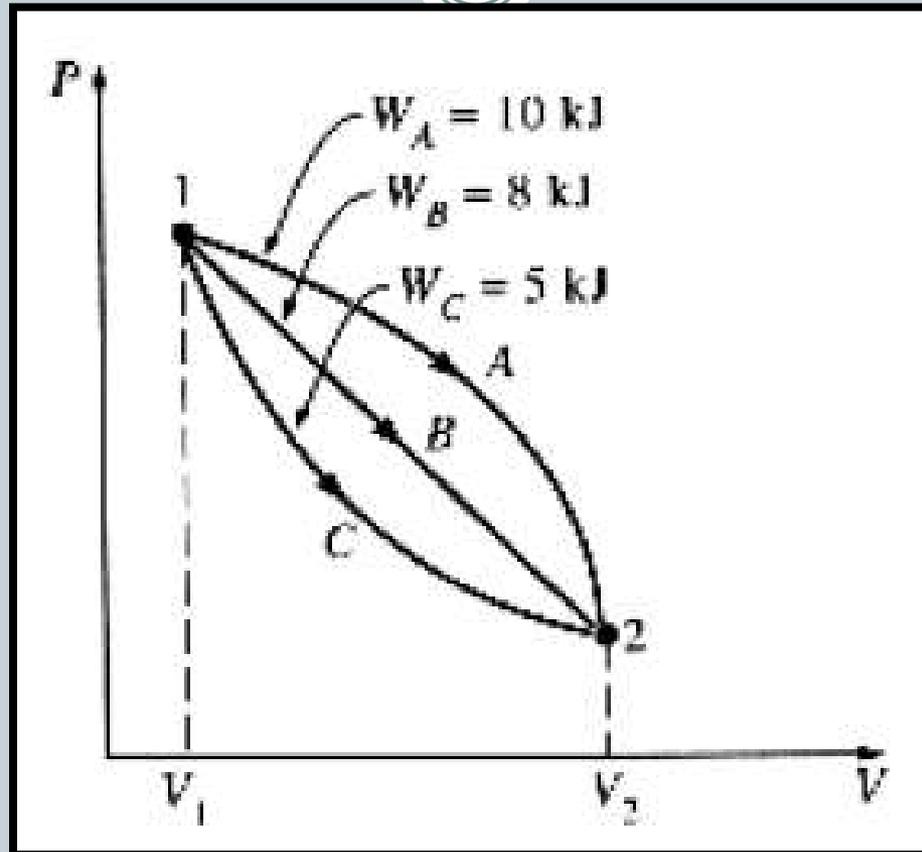


Trabalho Total da Fronteira Móvel



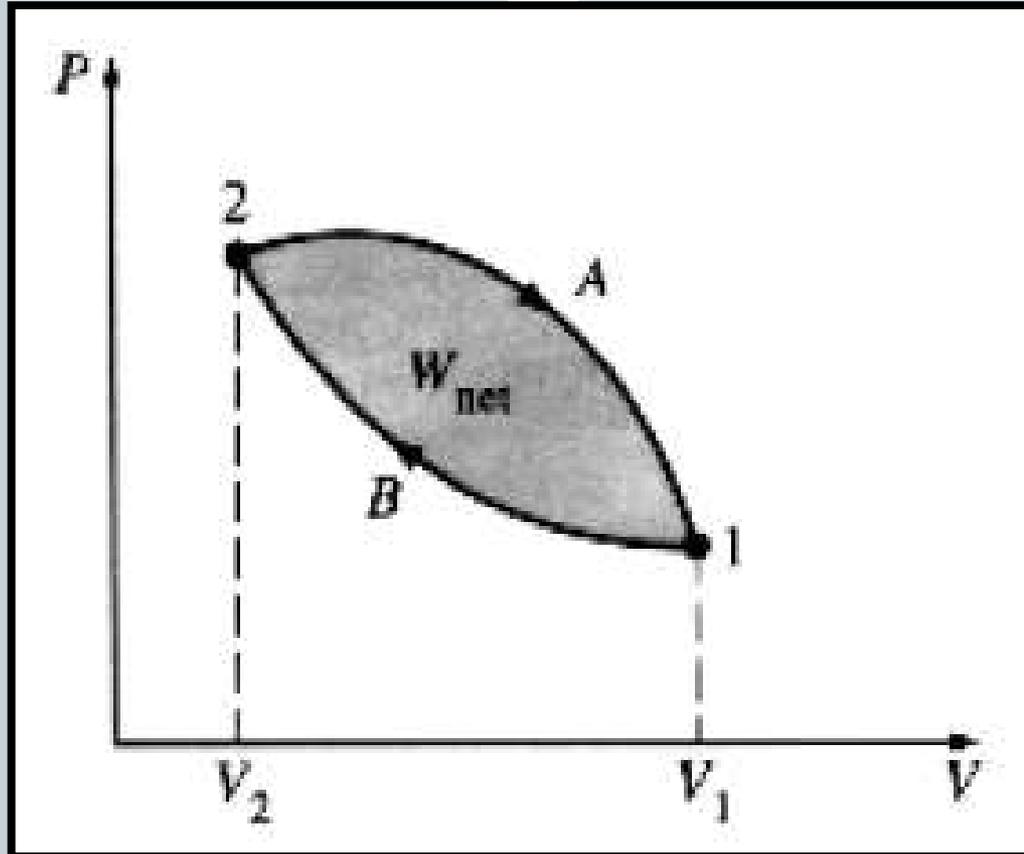
A área abaixo da linha de processo num diagrama P - V representa o Trabalho de Fronteira

Diferenças de áreas



O Trabalho de Fronteira realizado durante um processo depende não só do caminho seguido, mas também dos estados inicial e final

Trabalho Líquido



O Trabalho líquido realizado durante um ciclo é a diferença entre o trabalho realizado pelo sistema e o trabalho realizado no sistema

Processo Politrópico

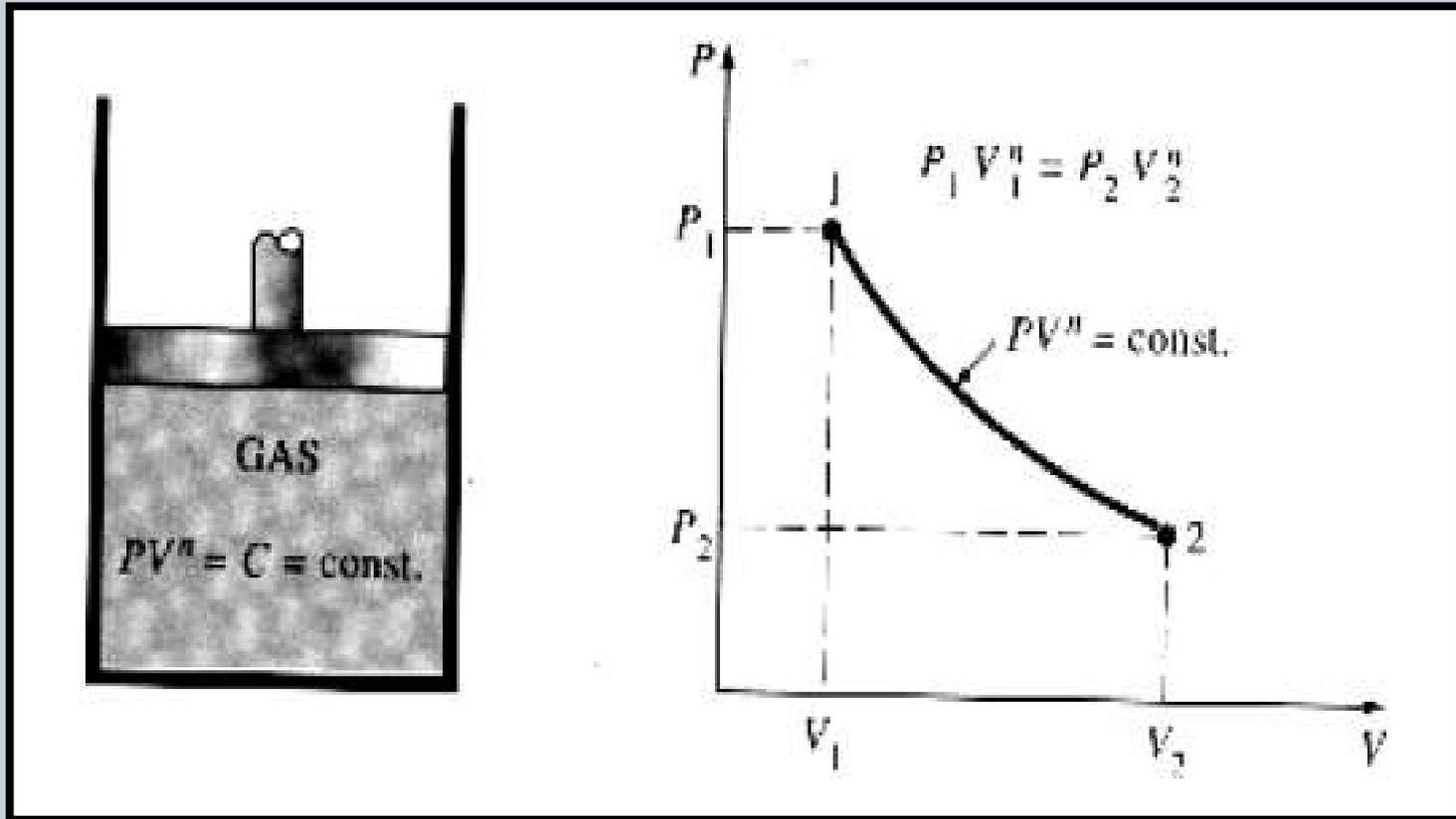
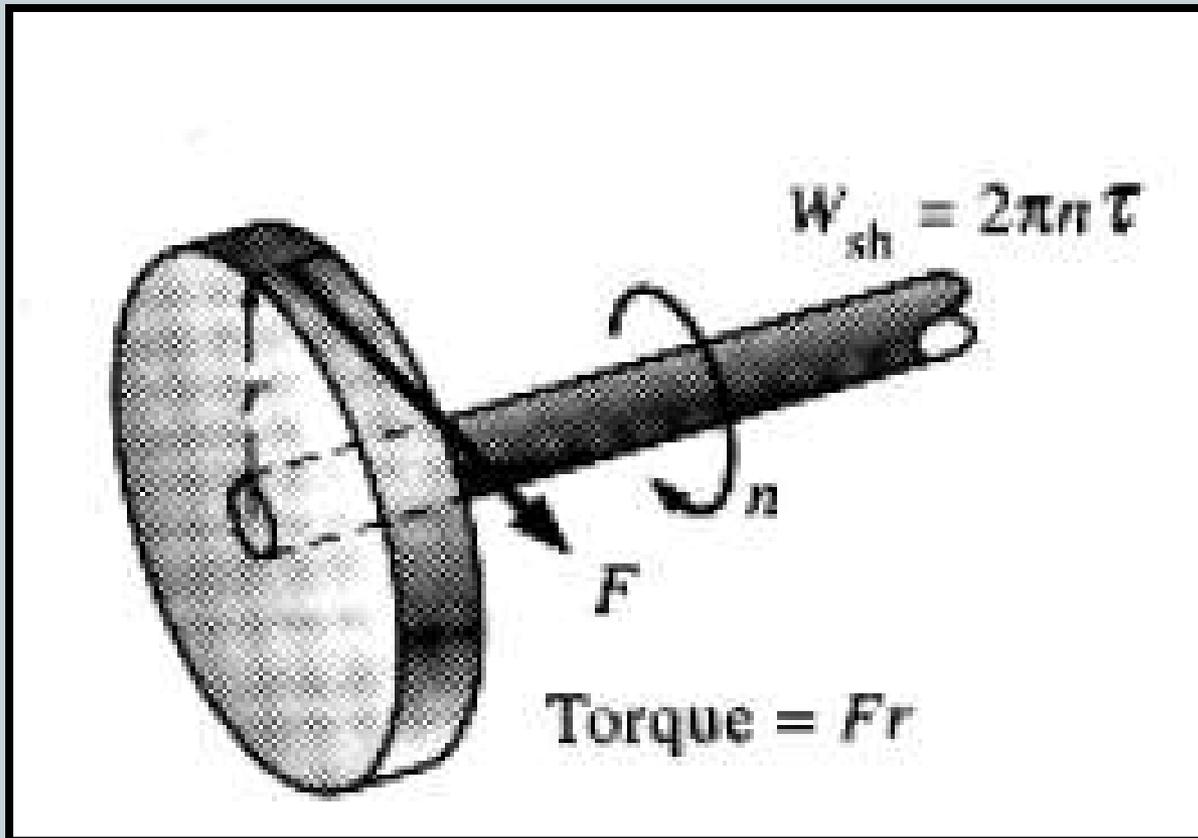


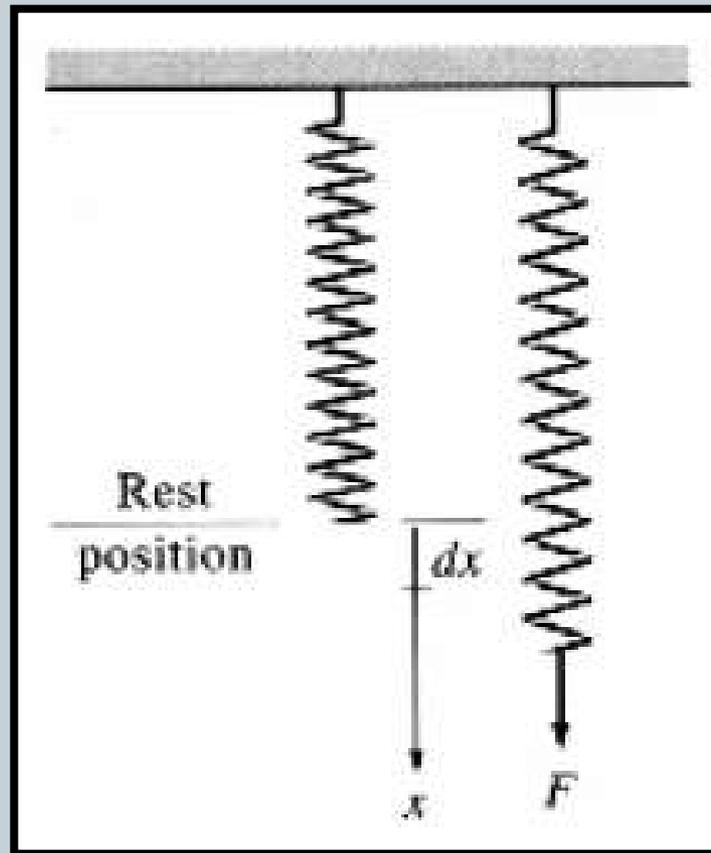
Diagrama P-V de um Processo Politrópico

Trabalho de um Veio



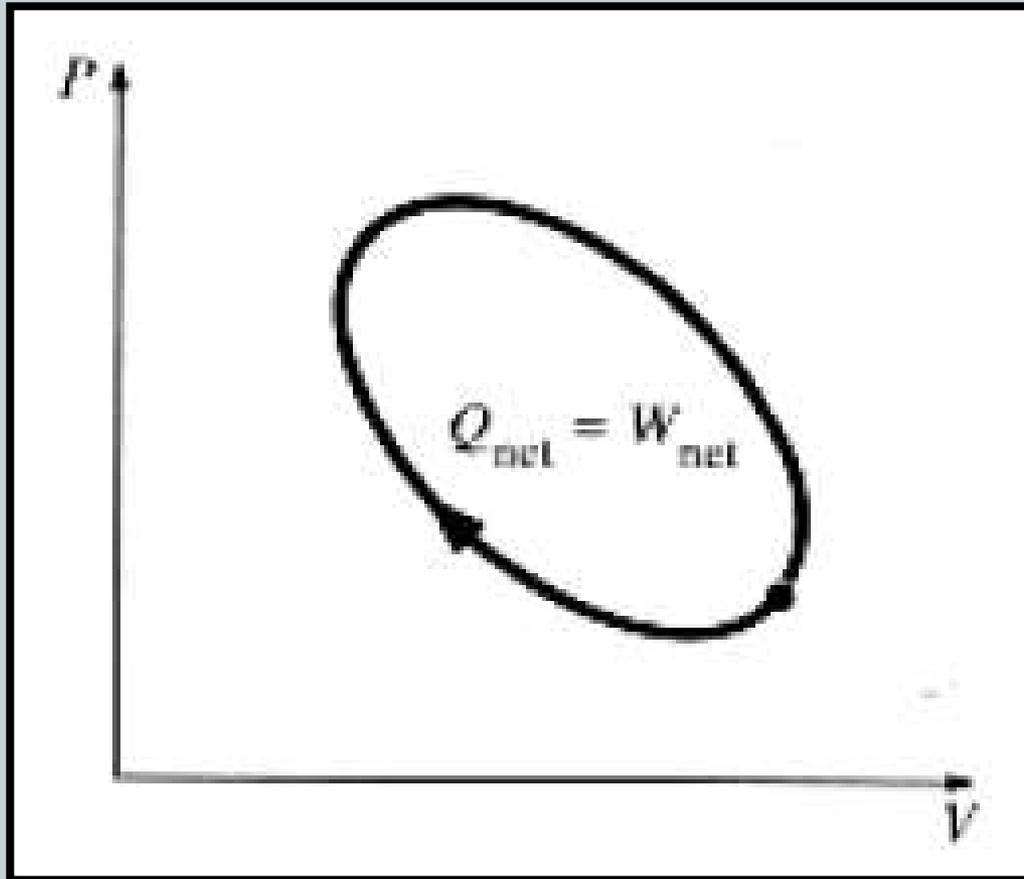
O Trabalho realizado pelo veio é proporcional ao “*momento de torção*” aplicado às rotações dadas pelo veio

Trabalho da Mola Elástica



Alongamento de uma mola em resultado da aplicação de uma força

Outras formas da Primeira Lei da Termodinâmica



Num ciclo $\Delta E = 0$, logo $Q = W$

Primeira Lei da Termodinâmica



- A Primeira Lei da Termodinâmica , ou o Princípio da Conservação da Energia para um sistema fechado ou de massa fixa pode ser expressa:

A 1ª lei da termodinâmica para um sistema fechado:

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad \text{onde}$$

$$W = W_{\text{outros}} + W_b$$

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1)$$

Para um processo a pressão constante, $W_b + \Delta U = \Delta H$. Então,

$$Q - W_{\text{outros}} = \Delta H + \Delta KE + \Delta PE$$

Primeira Lei da Termodinâmica

Estado estacionário – Sistema Fechado



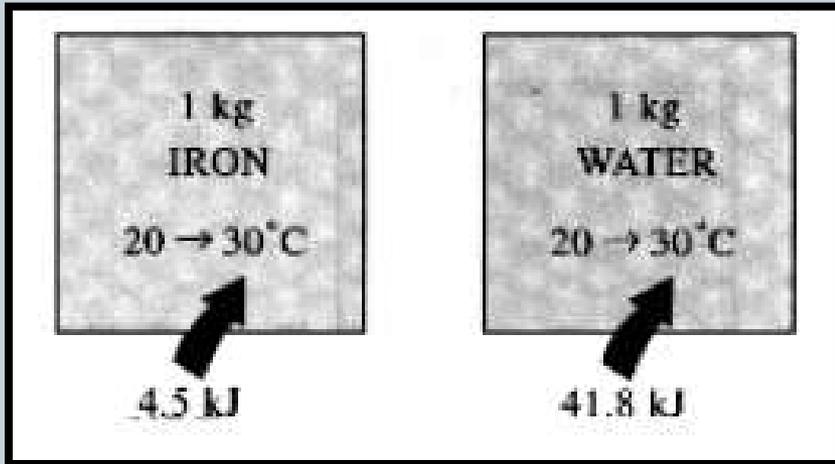
$$\delta Q - \delta W = \Delta U \quad (\text{kJ})$$

Muitas vezes é conveniente considerar o trabalho em duas partes: δW_b trabalho da fronteira (boundary) e δW_{outros} outras formas de trabalho (eléctrico, mola elástica...) excepto o trabalho da fronteira.

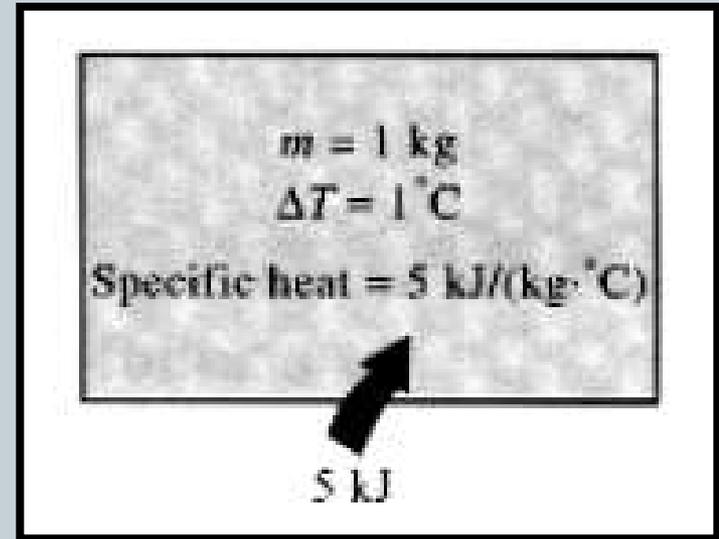
A Primeira Lei da Termodinâmica pode ser representada :

$$\delta Q - \delta W_b - \delta W_{outros} = \Delta E \quad (\text{kJ})$$

Calor Específico

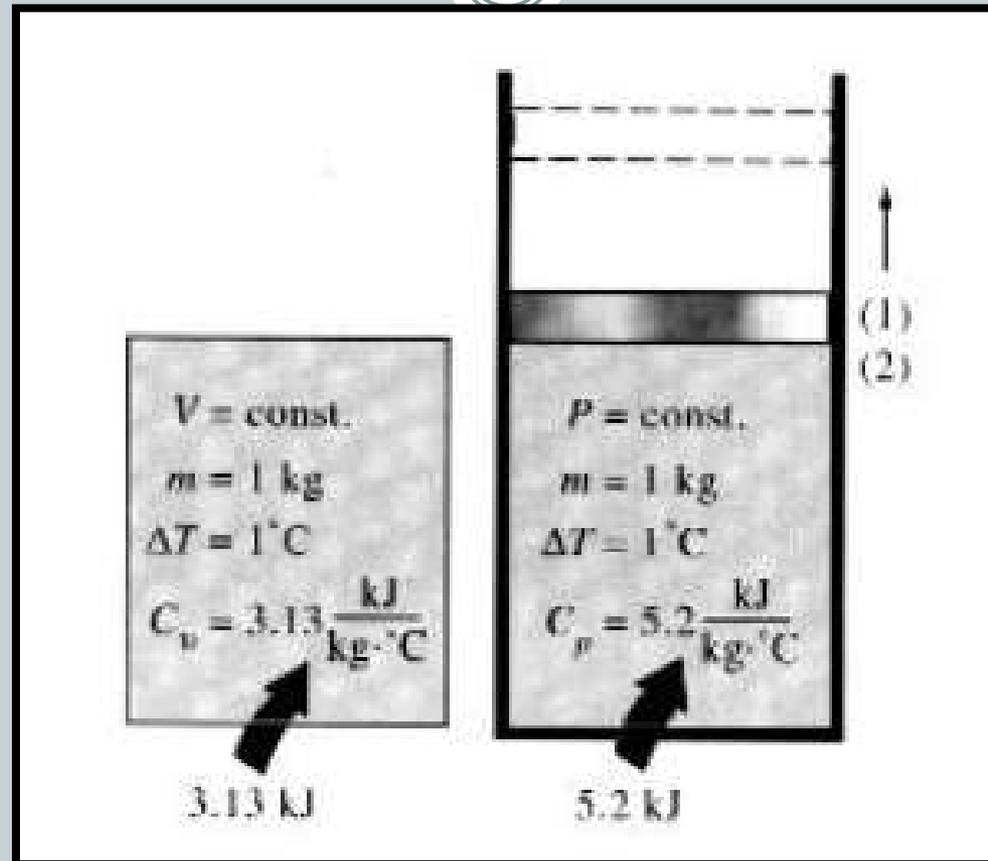


São necessárias quantidades diferentes de Energia para elevar a Temperatura de substâncias diferentes na mesma quantidade



O Calor Específico é a Energia necessária para elevar 1°C a Temperatura de uma unidade de massa de qualquer substância

Calores Específicos a Volume constante



Calores Específicos a Volume constante C_v e a Pressão constante C_p para o hélio

Definições formais de C_v e C_p

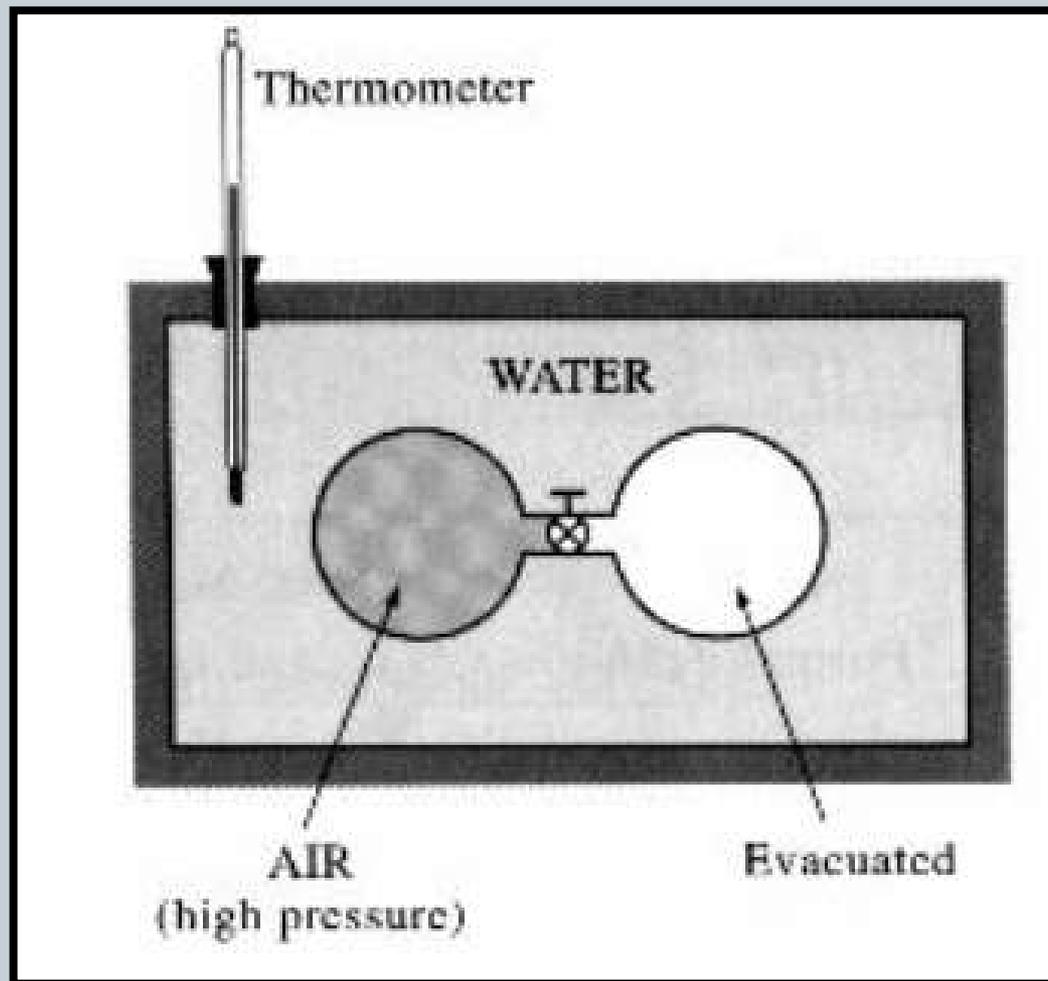


$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$
= the change in internal energy
with temperature at
constant volume

$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$
= the change in enthalpy with
temperature at constant
pressure

**ENERGIA INTERNA
ENTALPIA
CALORES ESPECÍFICOS DE
GASES IDEAIS**

Experiência de Joule



u, h, Cv e Cp de um gás ideal



$$u = u(T)$$

$$h = h(T)$$

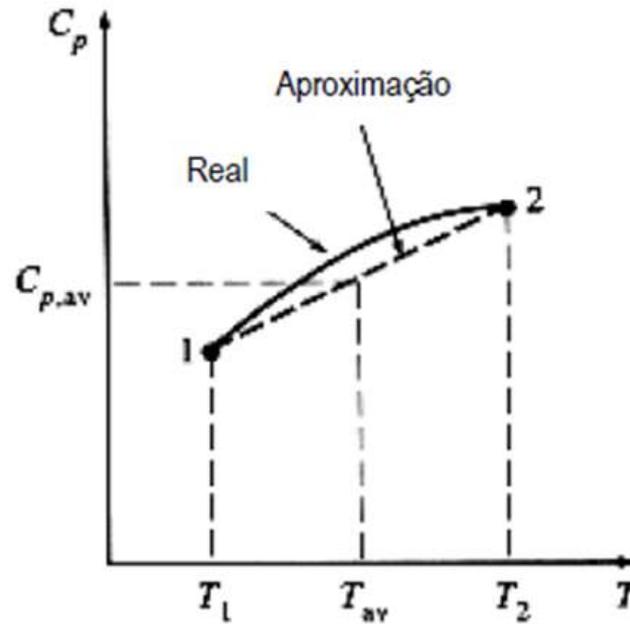
$$C_v = C_v(T)$$

$$C_p = C_p(T)$$



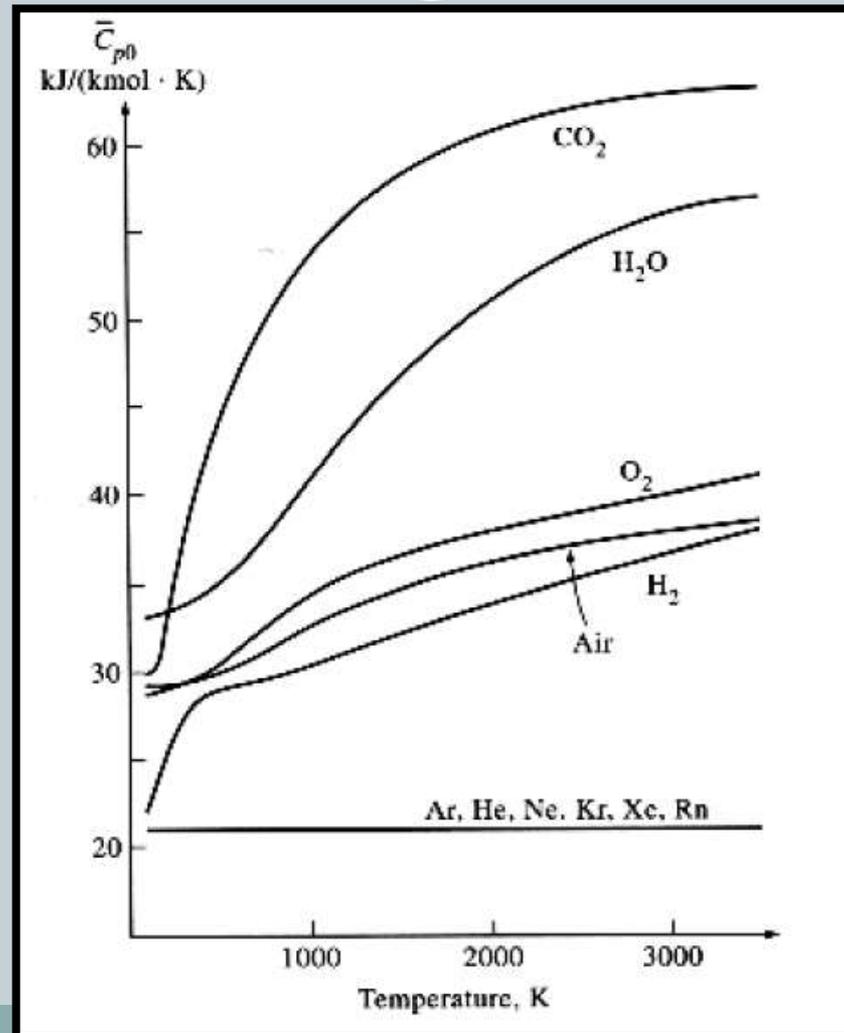
Para gases ideais, u, h, Cv e Cp variam apenas com a Temperatura

Relação $C_p - T$



Para baixas temperaturas pode-se assumir que os calores específicos variam linearmente com a temperatura

Valores de Cp para alguns gases



Caminhos para calcular Δu



$$\Delta u = u_2 - u_1$$

$$\Delta u = \int_1^2 C_v(T) dT$$

$$\Delta u \cong C_{v,av} \Delta T$$



Há três caminhos para determinar a variação de energia interna e a variação da Entalpia para gases ideais

Relações dos calores específicos para gases ideais



Ar a 300 K

$$C_v = 0,718 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$R = 0,287 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

ou

$$\overline{C_v} = 20,80 \text{ kJ}/(\text{kmol K})$$

$$R_u = 8,314 \text{ kJ}/(\text{kmol K})$$

$$\} C_p = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg K})$$

$$\} \overline{C_p} = 29,114 \text{ kJ}/(\text{kmol K})$$

O valor de C_p para um gás ideal pode ser determinado através do conhecimento de C_v e R

Relações dos calores específicos para gases ideais



A razão de calor específico K é-nos dada por: $k = \frac{C_p}{C_v}$

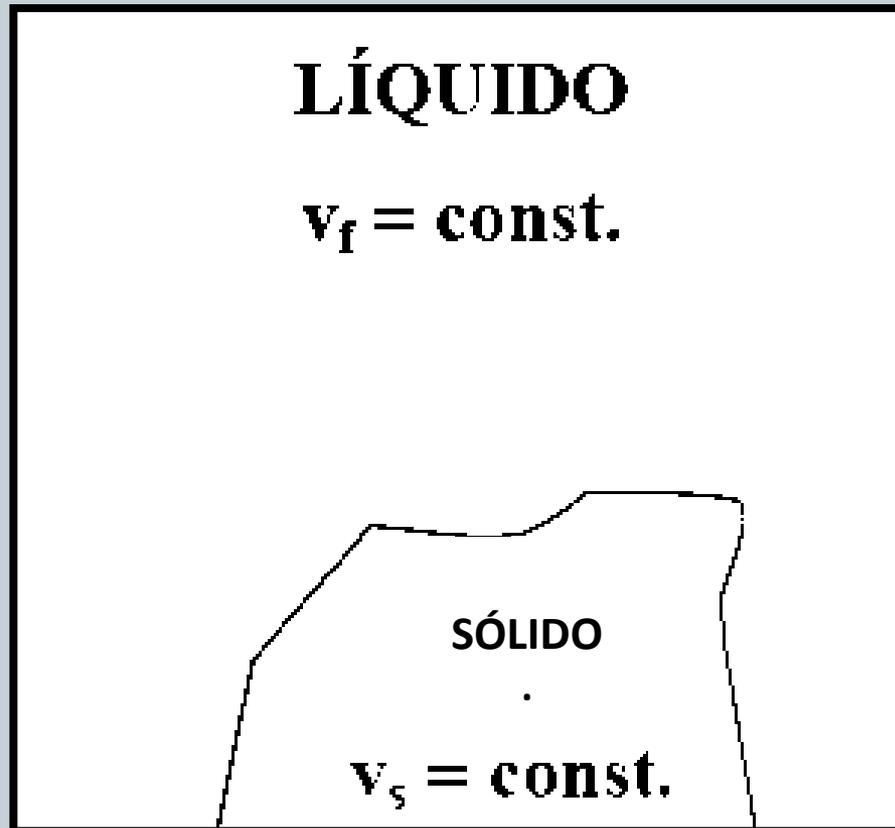
Para substâncias incompressíveis C_v e C_p são idênticos e representados apenas por C .

Δu e Δh para substâncias incompressíveis é-nos dado por:

$$\Delta u = \int_1^2 C(T) dT \cong C_{av} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = \Delta u + v\Delta P$$

Substâncias Incompressíveis



Os volumes específicos de substâncias incompressíveis mantêm-se constantes durante os processos

Resumo



- A 1ª Lei da Termodinâmica é essencialmente uma expressão do princípio da conservação de energia.
- A energia pode atravessar a fronteira de um sistema fechado na forma de calor ou trabalho. Se a transferência de energia for devida a uma diferença de temperatura entre o sistema e os arredores, é designado por calor; de outro modo será trabalho.
- O calor transferido de um sistema e o trabalho realizado no sistema são negativos. O calor transferido para o sistema e o trabalho realizado pelo sistema é positivo.

Resumo (continuação.)



Diferentes formas de trabalho

- Trabalho eléctrico: $W_e = VI\Delta t$
- Trabalho de fronteira: $W_b = \int_1^2 PdV$
- Trabalho gravitacional (ΔPE): $W_g = mg(z_2 - z_1)$
- Trabalho aceleração (ΔKE): $W_a = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2)$
- Trabalho do veio: $W_{sh} = 2\pi n \tau$
- Trabalho elástico: $W_{spring} = \frac{1}{2}k(x_2^2 - x_1^2)$

Para os processos politrópicos e para gases reais, o trabalho da fronteira pode ser expresso por:

$$W_b = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n} \text{ com } n \neq 1$$

Resumo (continuação.)



A 1ª lei da termodinâmica para um sistema fechado:

$$Q - W = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad \text{onde}$$

$$W = W_{\text{outros}} + W_b$$

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta KE = \frac{1}{2}m(V_2^2 - V_1^2)$$

$$\Delta PE = mg(z_2 - z_1)$$

Para um processo a pressão constante, $W_b + \Delta U = \Delta H$. Então,

$$Q - W_{\text{outros}} = \Delta H + \Delta KE + \Delta PE$$

Resumo (continuação.)



A quantidade de energia necessária para aumentar de 1°C a temperatura de uma unidade de massa de uma substância a volume constante é designada por C_v e a pressão constante C_p .

$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad \text{e} \quad C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$$

Para os gases ideais u , h , C_v e C_p são função só da temperatura. Δu e Δh para os gases ideais podem ser expressos como:

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 C_v(T) dT \cong C_{v,av}(T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 C_p(T) dT \cong C_{p,av}(T_2 - T_1)$$

Para os gases ideais C_v e C_p estão relacionados por:

$$C_p = C_v + R_u \quad \text{onde } R_u \text{ é a constante dos gases ideais.}$$

Resumo (continuação.)



A razão de calor específico K é-nos dada por: $k = \frac{C_p}{C_v}$

Para substâncias incompressíveis C_v e C_p são idênticos e representados apenas por C .

Δu e Δh para substâncias incompressíveis é-nos dado por:

$$\Delta u = \int_1^2 C(T) dT \cong C_{av} (T_2 - T_1)$$

$$\Delta h = \Delta u + v\Delta P$$