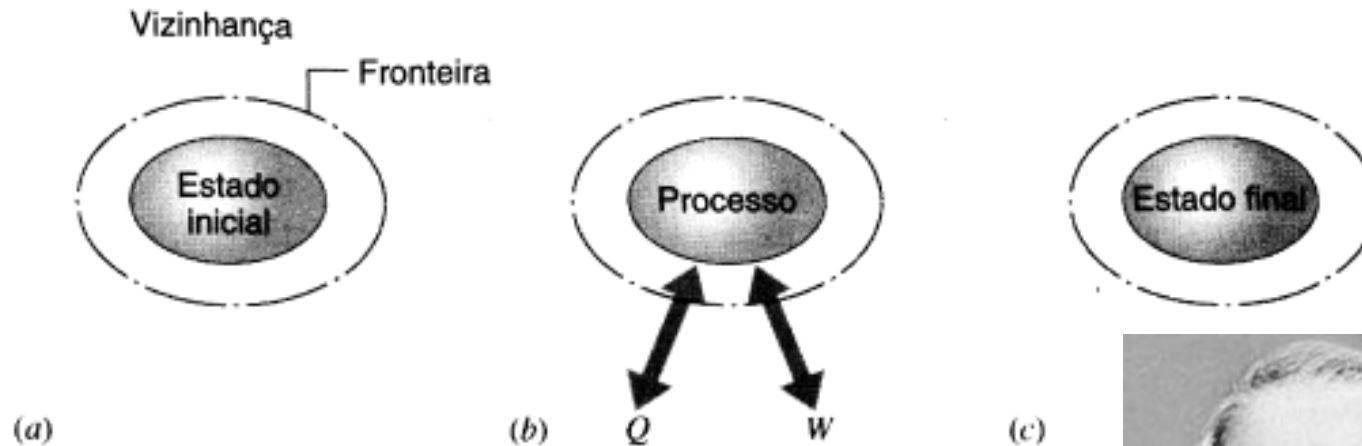


23.3 – A Primeira Lei da Termodinâmica

Expressa a conservação da energia!



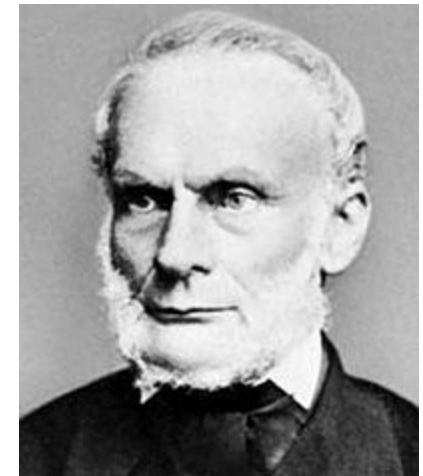
$$Q + W = \Delta E_{\text{int}}$$

Convenções:

$Q > 0$: calor transferido para o sistema

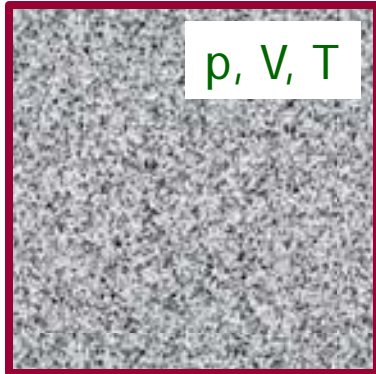
$W > 0$: trabalho realizado sobre o sistema

ΔE_{int} : variação de energia interna do sistema



Rudolf Clausius
(1822-1888)

Diagramas p-V e processos termodinâmicos

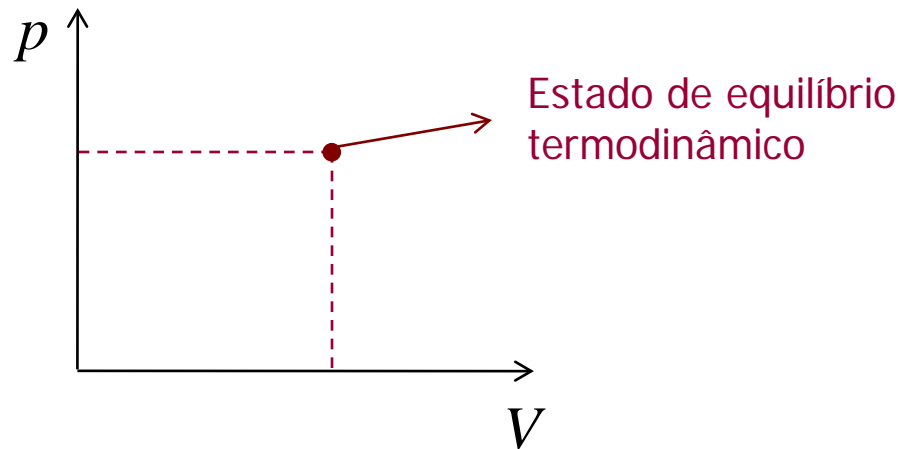


Um fluido em equilíbrio tem pressão p , volume V e temperatura T bem definidos

Fato experimental: basta determinar duas dessas três variáveis para determinar univocamente o estado do fluido, pois haverá uma relação $f(p,V)=T$ (equação de estado) que permite determinar a terceira variável

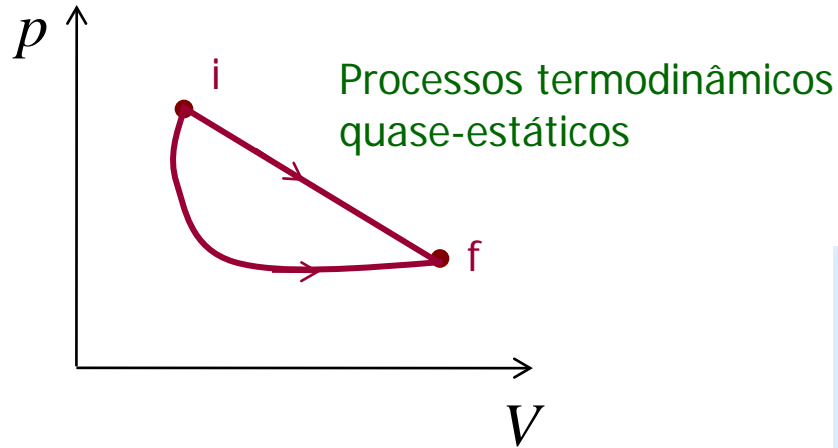
Exemplo – gás ideal: $pV=nRT$

Assim, o estado de equilíbrio de um fluido é determinado por um ponto no diagrama p-V

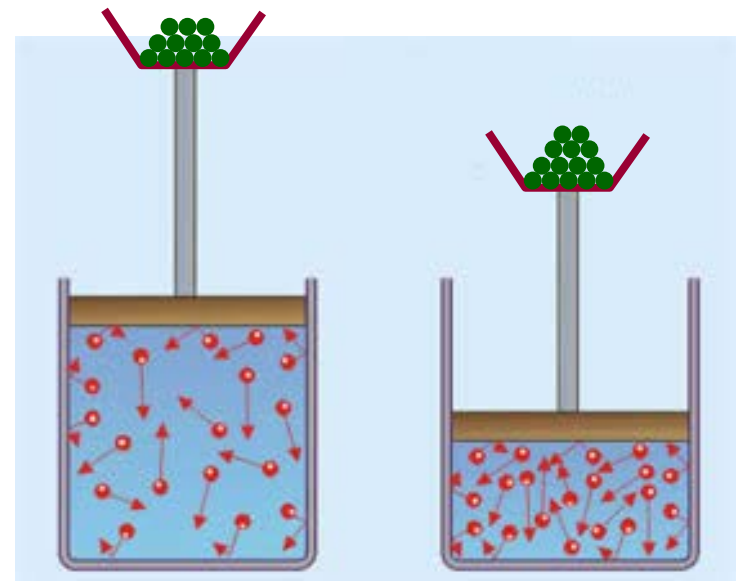


Há inúmeras maneiras de se levar um sistema de um estado inicial (i) a um estado final (f) do diagrama p-V: processos termodinâmicos

Se o processo for realizado de forma lenta (quase-estática), de modo que o sistema passe por estados sucessivos de equilíbrio termodinâmico, poderá ser representado por uma linha no diagrama p-V

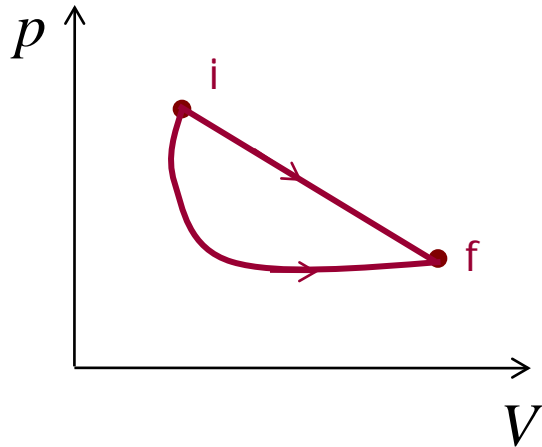


Se, além disso, não houver perda de energia (atrito), o processo será reversível



Exemplo de processo reversível:
aumentar (ou diminuir) a pressão sobre o gás adicionando (ou retirando) uma bolinha de cada vez (pistão sem atrito)

Varição de energia interna: $\Delta E_{\text{int}} = E_{\text{int},f} - E_{\text{int},i}$



Depende apenas dos estados inicial e final e não do processo

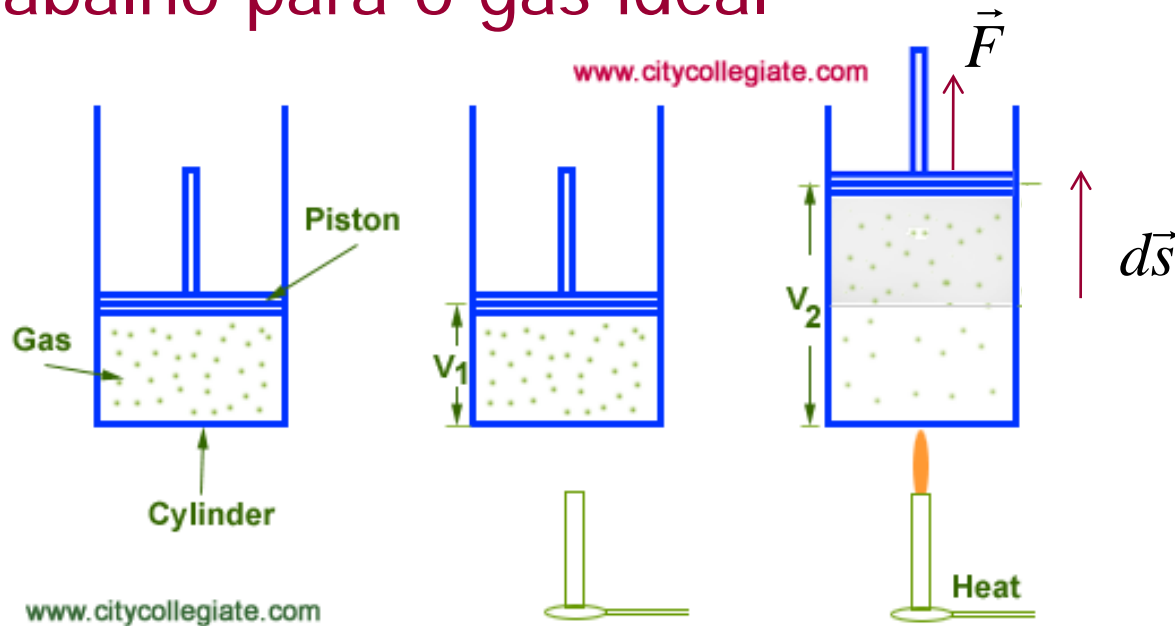
Diz-se que a energia interna é **uma função de estado** (como veremos a seguir, está diretamente relacionada à temperatura)

$$Q + W = \Delta E_{\text{int}}$$

Q e W podem depender do processo, mas Q+W é o mesmo para qualquer processo (mesmo irreversíveis):
Outra versão da 1a. Lei

Processos infinitesimais: $dE_{\text{int}} = dQ + dW$

23.5 – Trabalho para o gás ideal



Se o gás se expande, realiza um trabalho:

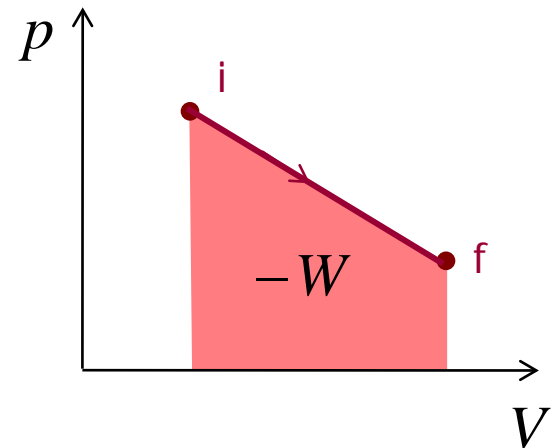
$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = pA ds = p dV$$

Trabalho infinitesimal realizado sobre o gás:

$$dW = -pdV$$

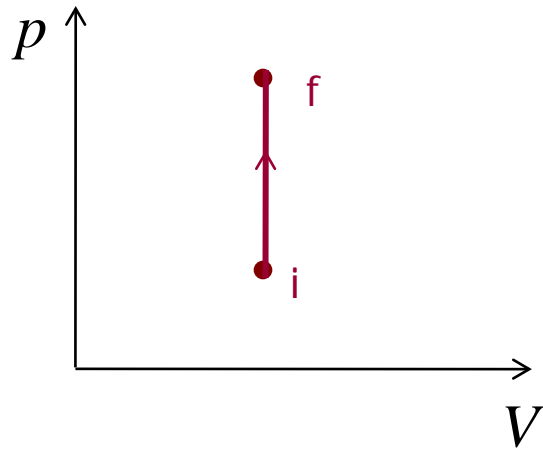
Trabalho total:

$$W = \int dW = -\int pdV \quad (\text{processos reversíveis})$$



Exemplos:

1. Processo a volume constante (isocórico)

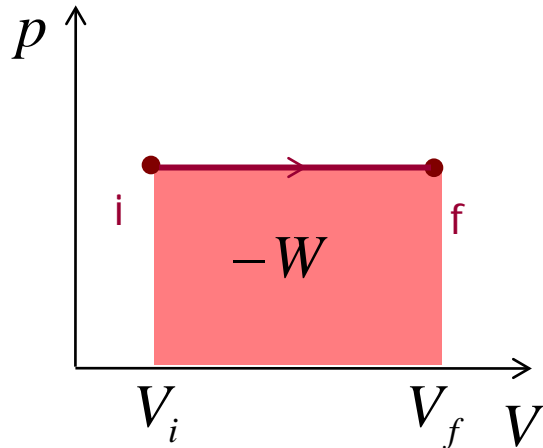


$$dW = -pdV$$

$$dV = 0 \Rightarrow W = 0$$

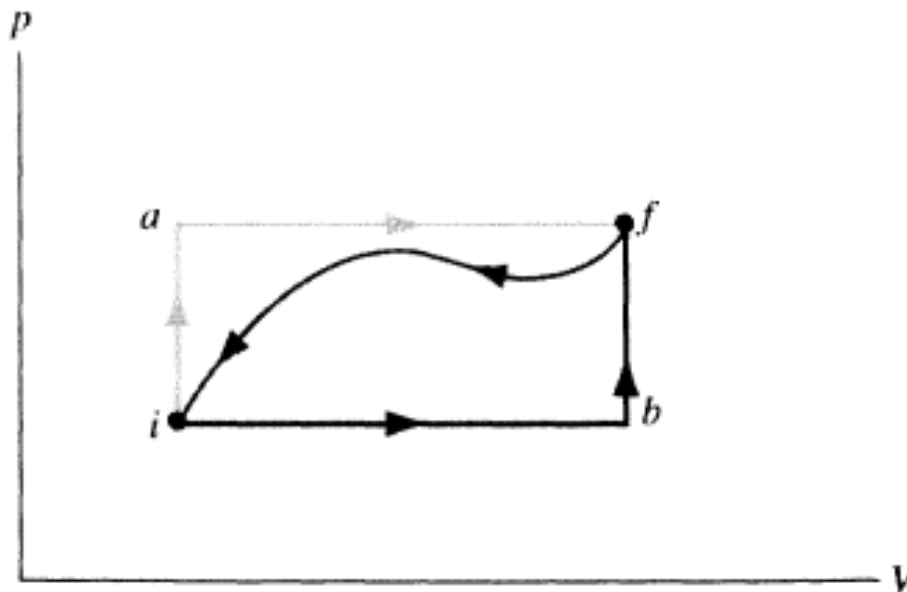
$$\text{Pela 1a. Lei: } Q = \Delta E_{\text{int}}$$

2. Processo a pressão constante (isobárico)

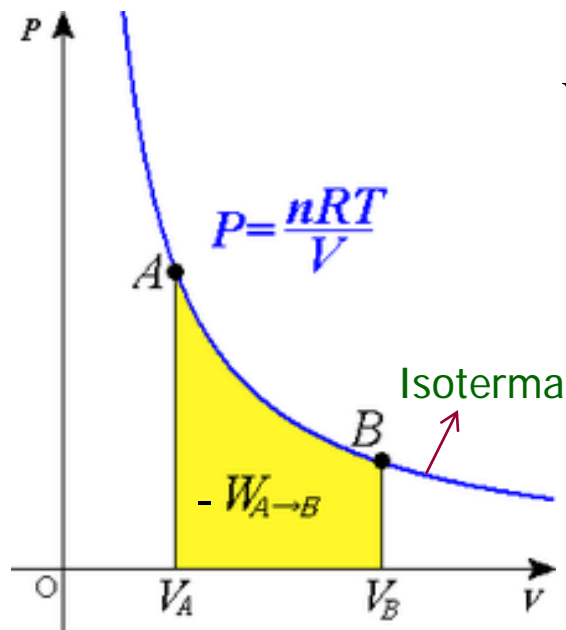


$$W = -\int p dV = -p \int_{V_i}^{V_f} dV = -p(V_f - V_i)$$

11. Quando um sistema é levado de um estado i para um estado f ao longo do caminho iaf indicado na Fig. 23-29, observa-se que $Q = 50 \text{ J}$ e $W = -20 \text{ J}$. Ao longo do caminho ibf , $Q = 36 \text{ J}$. (a) Qual o valor de W ao longo do caminho ibf ? (b) Se $W = +13 \text{ J}$ para o caminho curvo fi , qual o valor de W para este caminho? (c) Considere $E_{\text{int},i} = 10 \text{ J}$. Qual o valor de $E_{\text{int},f}$? (d) Se $E_{\text{int},b} = 22 \text{ J}$, determine Q para os processos ib e bf .



3. Processo a temperatura constante (isotérmico)



$$W = -\int p dV = -\int \frac{nRT}{V} dV = -nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V}$$

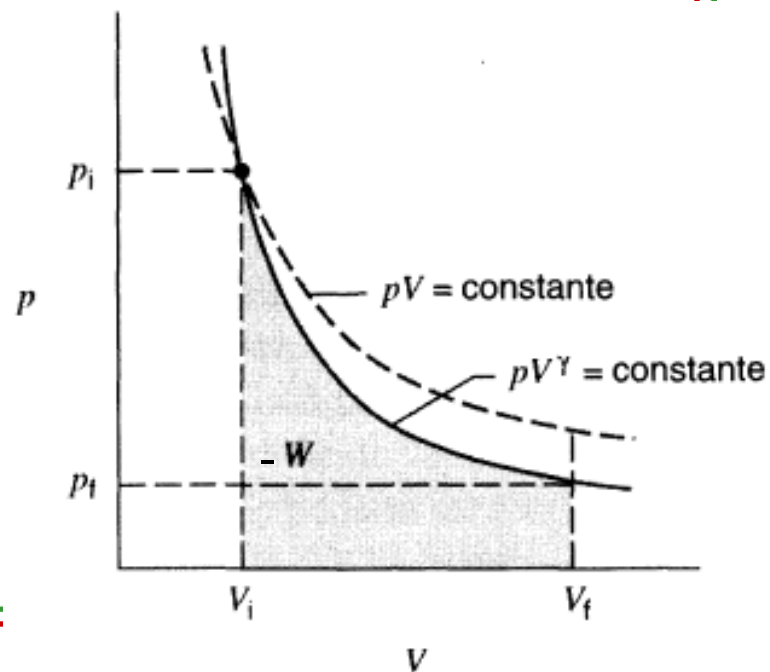
$$W = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$

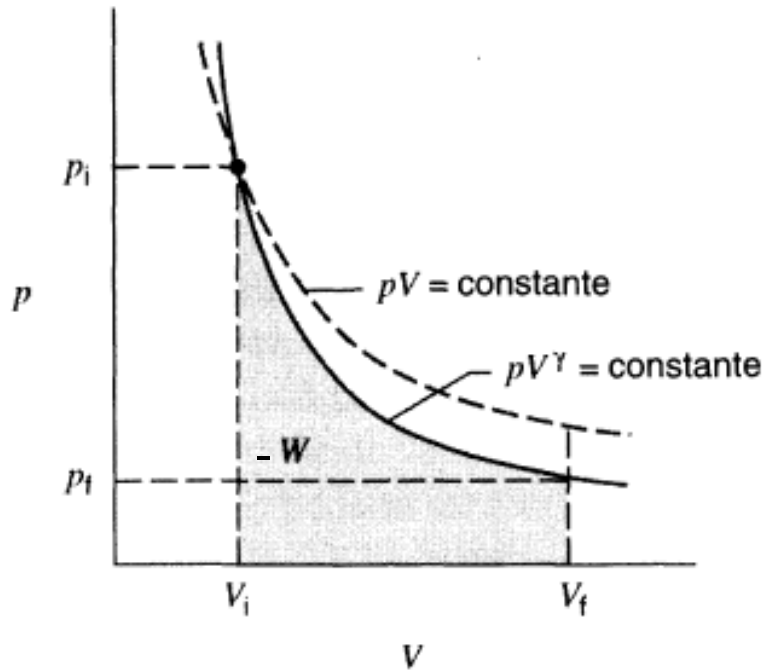
4. Processo adiabático (sem troca de calor)

$$Q = 0 \quad \text{Pela 1a. Lei: } W = \Delta E_{\text{int}}$$

Como veremos na próxima aula,
em um processo adiabático:

$$pV^\gamma = \text{constante}, \gamma > 1$$





Usando: $p_i V_i^\gamma = p_f V_f^\gamma$

$$pV^\gamma = p_i V_i^\gamma \Rightarrow p = \frac{p_i V_i^\gamma}{V^\gamma}$$

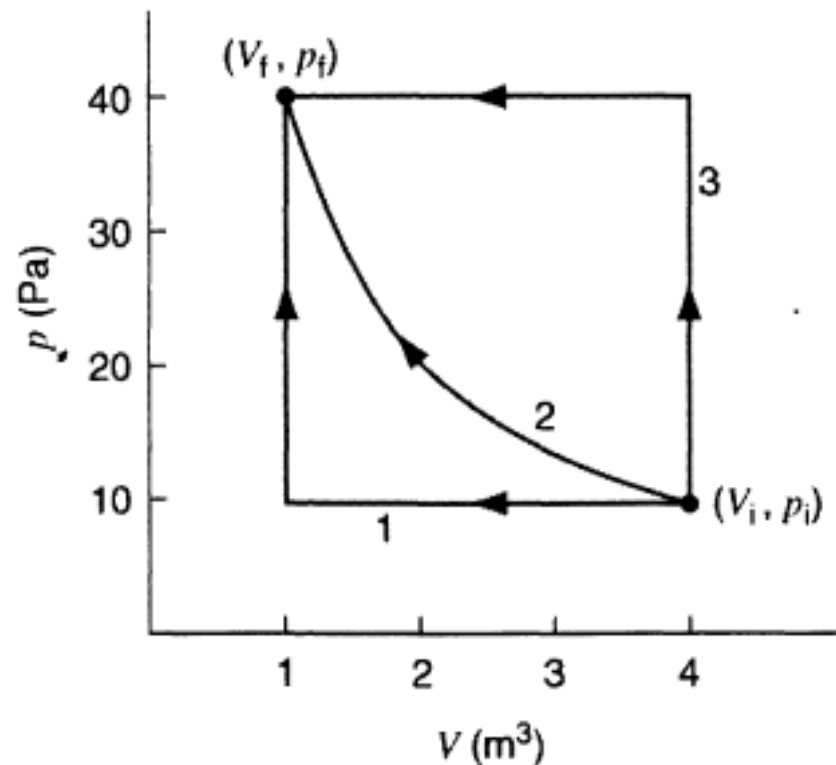
$$W = -\int p dV = -p_i V_i^\gamma \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V^\gamma}$$

$$= -\frac{p_i V_i^\gamma}{1-\gamma} (V_f^{-\gamma+1} - V_i^{-\gamma+1})$$

$$W = \frac{1}{\gamma-1} (p_f V_f - p_i V_i)$$

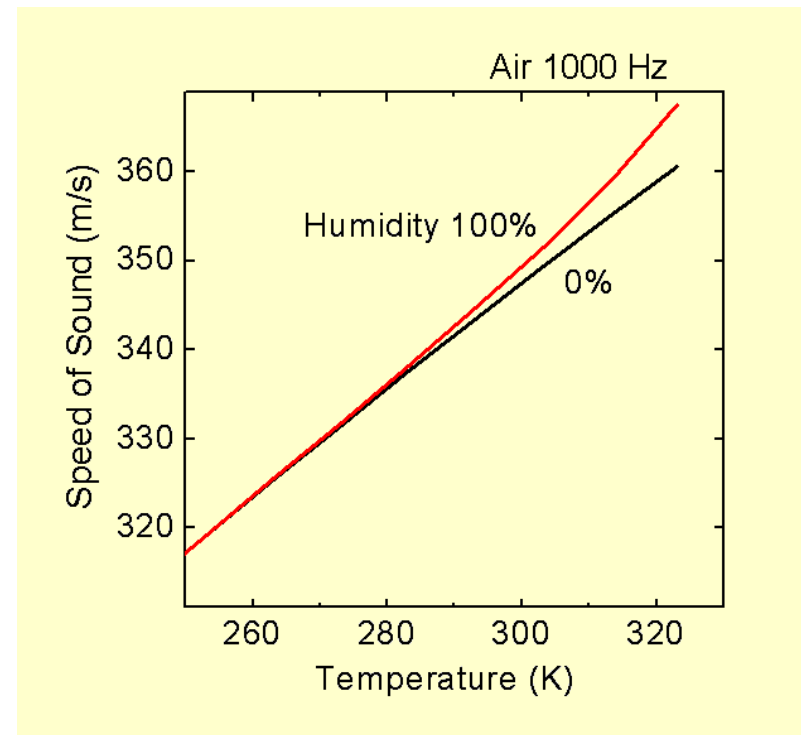
PROBLEMA RESOLVIDO 23-4.

Uma amostra de gás consistindo de 0,11 mol é comprimida de um volume de $4,0 \text{ m}^3$ até $1,0 \text{ m}^3$ enquanto a sua pressão aumenta de 10 até 40 Pa. Compare o trabalho realizado ao longo de três caminhos diferentes mostrados na Fig. 23-17.

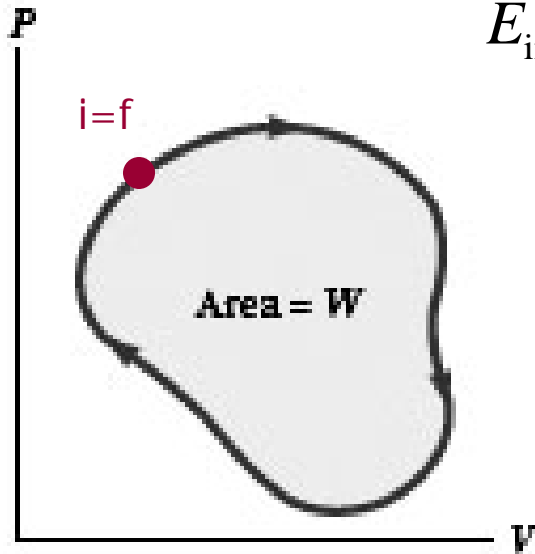


PROBLEMA RESOLVIDO 23-5.

(a) Determine o módulo de compressibilidade B para um processo adiabático envolvendo um gás ideal. (b) Utilize o módulo de compressibilidade adiabático para determinar a velocidade do som no gás como uma função da temperatura. Calcule para o ar à temperatura ambiente (20°C).



5. Processo cíclico



$$E_{\text{int},f} = E_{\text{int},i} \Rightarrow \Delta E_{\text{int}} = 0$$

Pela 1a. Lei: $Q = -W$

Sentido horário: $W < 0$

Sentido anti-horário: $W > 0$

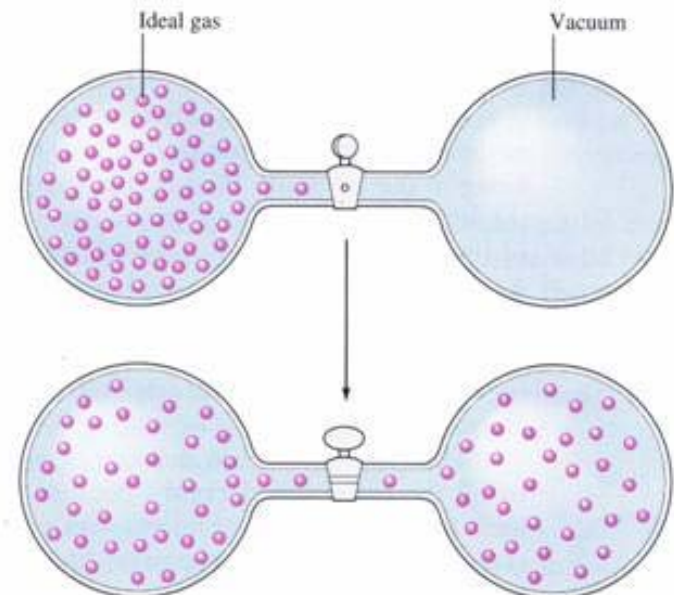
6. Expansão livre adiabática

$$Q = 0 \quad (\text{paredes adiabáticas})$$

$$W = 0 \quad (\text{expansão livre})$$

$$\text{Então: } \Delta E_{\text{int}} = 0$$

Este processo não é reversível (estados intermediários não são de equilíbrio)



28. (a) Um litro de gás com $\gamma = 1,32$ está a 273 K e 1,00 atm de pressão. Ele é repentinamente (adiabaticamente) comprimido até a metade do seu volume original. Determine a pressão e temperatura finais. (b) Em seguida, o gás é resfriado de volta até 273 K a pressão constante. Determine o volume final. (c) Determine o trabalho total realizado sobre o gás.