Física do calor

F.S. Navarra

navarra@if.usp.br

Monitor: Guilherme Germano

Guilherme.germano@usp.br

edisciplinas.if.usp.br

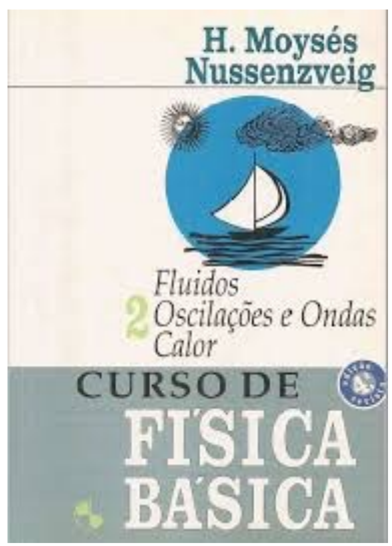
(buscar: física do calor 4300159)

Plano do Curso

22/03	Cap. 7	10/05	Evento	28/06	Exs. 12
25/03	Cap. 7	13/05	Exs. 9	01/07	P 3
29/03	Cap. 8	17/05	Cap. 10	05/07	
01/04	Cap. 8	20/05	Cap. 10	08/07	Sub
05/04	Cap. 8	24/05	Cap. 10		
08/04	Exs.7/8	27/05	Exs. 10		
12/04		31/05	P 2		
15/04		03/06	Cap. 11		
19/04	Exs. 7/8	07/06	Cap. 11		
22/04		10/06	Cap. 11		
26/04	P 1	14/06	Exs. 11		
29/04	Cap. 9	17/06	Cap. 12		
03/05	Cap. 9	21/06	Cap. 12		
06/05	Cap. 9	24/06	Cap. 12		

Capítulo 9

Propriedades dos gases



1ª Lei da Termodinâmica:

$$\boxed{Q = \Delta U + W_{i \to f}}$$

Conservação da energia !!!

$$dQ = dU + pdV$$

$$\boxed{pV = nRT}$$

Equação de estado dos gases ideais

Capacidades Térmicas Molares

$$\Delta Q = m\,c\,\Delta T = C\,\Delta T$$

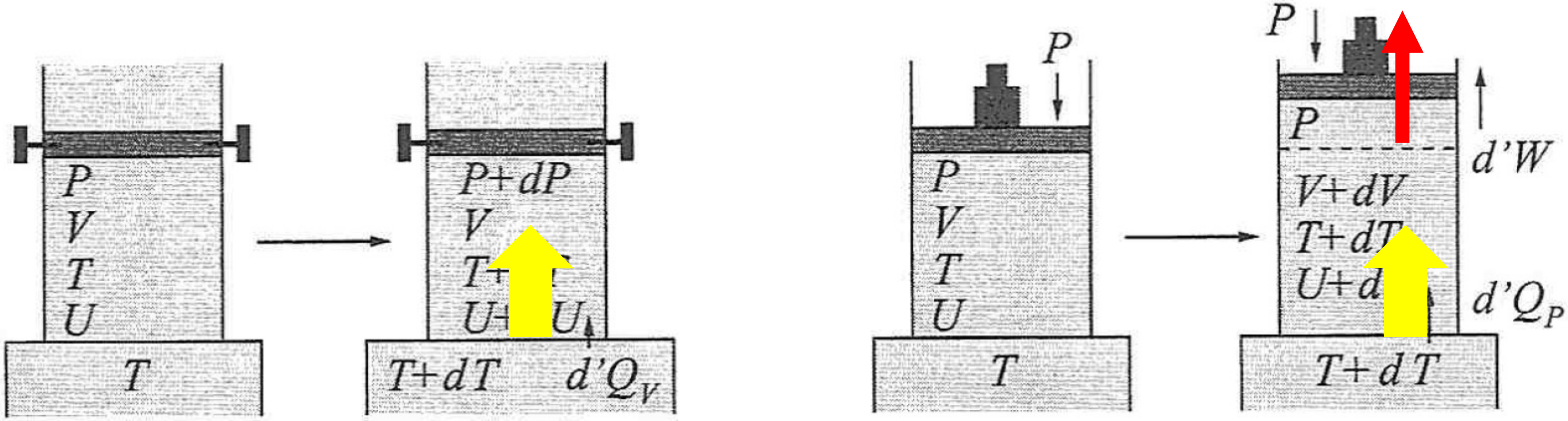
Para um mol de um gás C é a capacidade térmica molar

$$dQ = C\,dT$$

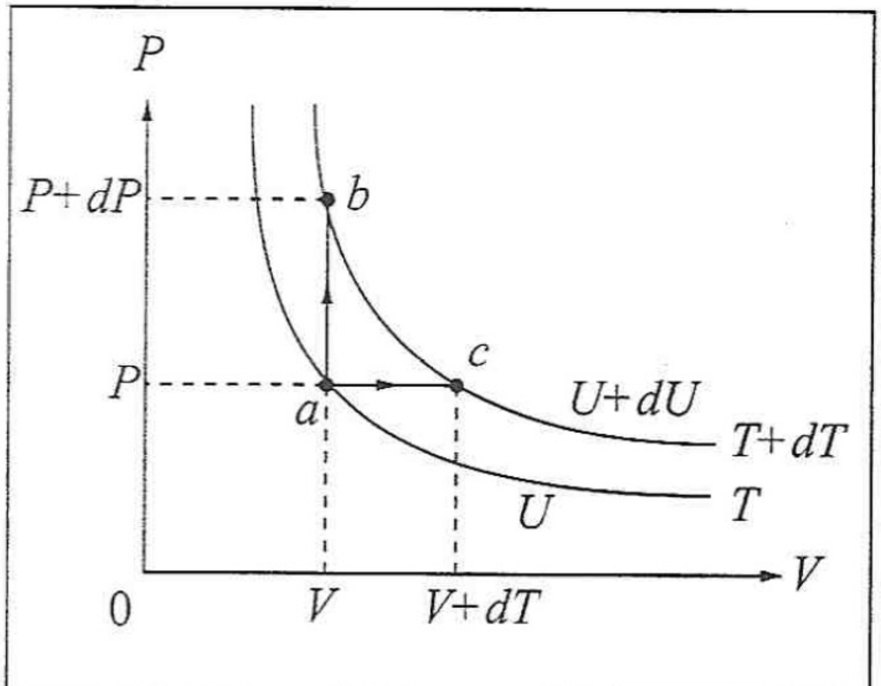
dQ e portanto C dependem do caminho

$$dQ_p = C_p\,dT$$ Pressão constante

$$dQ_V = C_V\,dT$$ Volume constante



(a) Isocórico (b) Isobárico



U só depende da temperatura

$$dQ = dU + pdV \quad \longrightarrow \quad dU = dQ - pdV$$

Processo isocórico: $\begin{cases} dV = 0 \\ dQ = dQ_V = C_V dT \end{cases}$

$$dU = C_V dT$$

Processo isobárico: $\begin{cases} dW = pdV \\ dQ = dQ_P = C_P dT \end{cases}$

$$dU = C_P dT - pdV$$

$$\longrightarrow \quad C_V dT = C_P dT - pdV$$

Para 1 mol: $\left\{ \begin{array}{l} pV = RT \\ \\ dpV + pdV = RdT \end{array} \right.$

Processo isobárico: $\left\{ dp = 0 \right.$

$$\rightarrow \quad pdV = RdT$$

$$C_V dT = C_P dT - RdT$$

$$C_V = C_P - R$$

$$\boxed{C_P - C_V = 2\,\frac{cal}{molK}}$$

Fórmula de Mayer

A energia interna cresce linearmente com a temperatura !

Quer ver ?

Energia Interna do Gás Ideal

$$dU = C_V \, dT$$ (para 1 mol)

$$dU = n \, C_V \, dT$$ (para n moles)

$$U(T) = U(T_0) + n \int_{T_0}^{T} C_V \, dT'$$

Para um gás ideal C_V é constante !

$$\boxed{U = U_0 + n \, C_V \, T}$$

$$pV^{\gamma} = constante$$

Quer ver ?

Processos Adiabáticos num Gás Ideal

$$dQ = dU + p\,dV$$

$$dQ = 0$$

$$\begin{cases} dU = -p\,dV \\ dU = n\,C_V\,dT \end{cases} \quad \longrightarrow \quad -p\,dV = n\,C_V\,dT$$

$$p\,V = n\,R\,T$$

$$dp\,V + p\,dV = n\,R\,dT$$

$$dp\,V = -p\,dV + n\,R\,dT \quad = +n\,C_V\,dT + n\,R\,dT$$

$$dp\,V = n\,(C_V + R)\,dT$$

$$\begin{cases} dp\,V = n\,(C_P)\,dT \\ -p\,dV = n\,C_V\,dT \end{cases} \longrightarrow \quad -\frac{dp\,V}{p\,dV} = \frac{C_P}{C_V}$$

$$\frac{dp}{p} = -\gamma\,\frac{dV}{V} \qquad \gamma = \frac{C_P}{C_V}$$

$$\int_{p_0}^{p} \frac{dp'}{p'} = -\gamma \int_{V_0}^{V} \frac{dV}{V}$$

$$ln(\frac{p}{p_0}) = -\gamma\,ln(\frac{V}{V_0}) \longrightarrow \quad \frac{p}{p_0} = (\frac{V_0}{V})^{\gamma}$$

$$\boxed{PV^\gamma = P_0 V_0^\gamma = \text{ constante}}$$

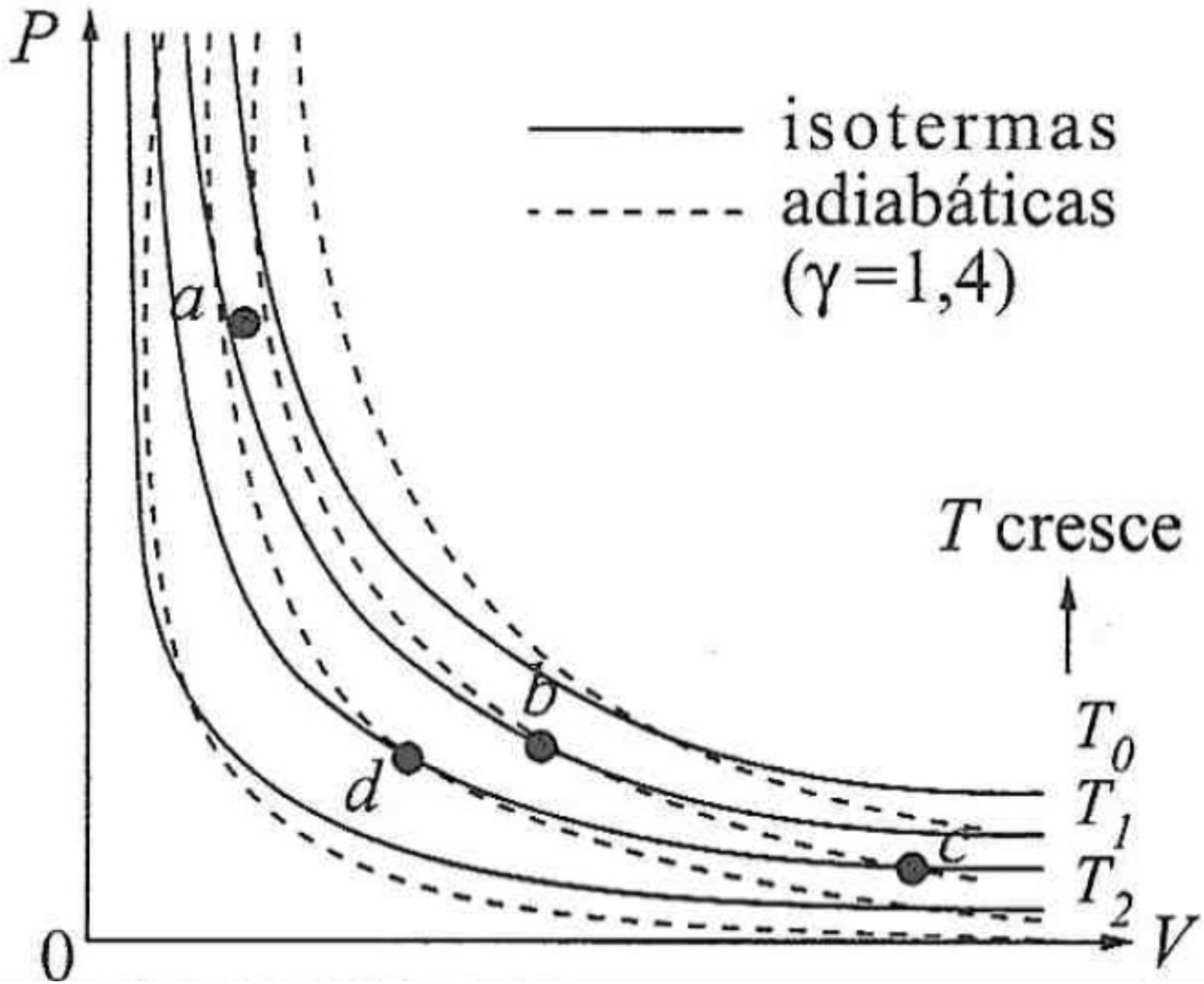
gás ideal, processo adiabático

$$\boxed{p = \frac{p_0 V_0^\gamma}{V^\gamma}}$$

adiabático

$$\boxed{p = \frac{const}{V}}$$

isotérmico


P
isotermas
adiabáticas
(γ=1,4)
a
b
c
d
T cresce
T0
T1
T2
0
V

$$p\,V^{\gamma} = p_0\,V_0^{\gamma} = constante$$

$$p\,V = n\,R\,T \rightarrow p = \frac{n\,R\,T}{V}$$

$$\frac{n\,R\,T}{V}\,V^{\gamma} = constante$$

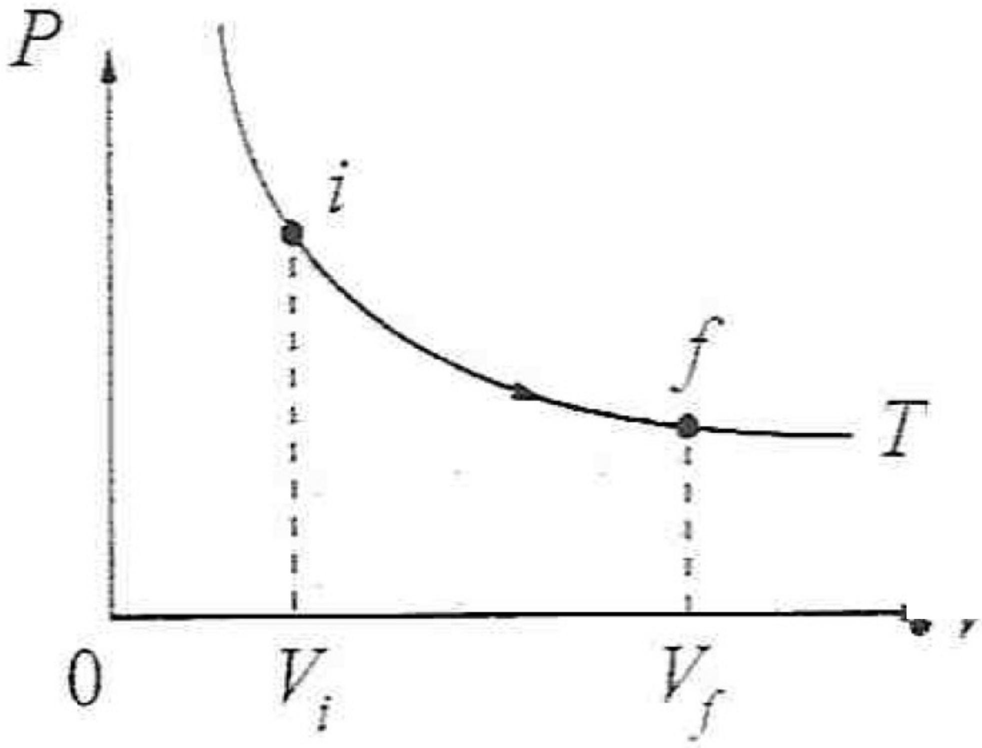
$$\boxed{T\,V^{\gamma-1} = constante}$$

$$p\,V = n\,R\,T \rightarrow V = \frac{n\,R\,T}{p}$$

$$T^{\gamma}\,p^{1-\gamma} = constante \rightarrow \boxed{T = const. \times p^{(\gamma-1)/\gamma}}$$

Exercício

Trabalho na expansão adiabática do gás ideal



$$W_{i\to f} = \int_{V_i}^{V_f} p\, dV$$

$$W_{i\to f} = \int_{V_i}^{V_f} p\,dV$$

$$p = \frac{A}{V^\gamma}$$

$$W_{i\to f} = \int_{V_i}^{V_f} \frac{A}{V^\gamma}\,dV \quad = A\int_{V_i}^{V_f} \frac{1}{V^\gamma}\,dV$$

$$= A\left[\frac{V^{1-\gamma}}{1-\gamma}\right]_{V_i}^{V_f}$$

$$= \frac{A}{1-\gamma}\left[V_f^{1-\gamma} - V_i^{1-\gamma}\right]$$

$$= \frac{A}{1-\gamma}\left[V_f^{1-\gamma} - V_i^{1-\gamma}\right]$$

$$A = p_i\, V_i^{\gamma} = p_f\, V_F^{\gamma}$$

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

3. Um bloco de gelo de 1 tonelada, destacado de uma geleira, desliza por uma encosta de 10° de inclinação com velocidade constante de 0,1 m/s. O calor latente de fusão do gelo (quantidade de calor necessária para liquefação por unidade de massa) é de 80 cal/g. Calcule a quantidade de gelo que se derrete por minuto em conseqüência do atrito.

$$F_{at} = \mu m g \cos\theta$$

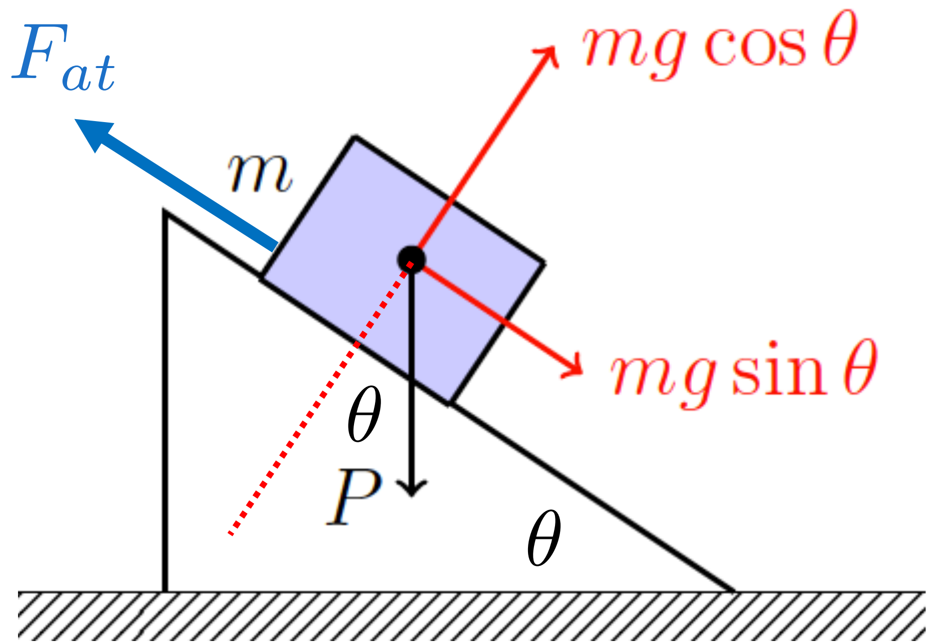
$$\mu\, m\, g\, cos\,\theta = m\, g\, sen\,\theta$$

$$\mu = \tan\theta$$

$$F_{at} = mg\sin\theta$$

$$W = F_{at} d = F_{at} v \Delta t$$

$$W = Q$$



$$m_d L = W = mg\sin\theta v\Delta t$$

$$m_d = \frac{mg\sin\theta v\Delta t}{L}$$

$$m_d = \frac{mg \sin \theta v \Delta t}{L}$$

Substituindo pelos valores numéricos $m = 1000kg$, $g = 9.81\frac{m}{s^2}$, $\theta = 10°$, $v = 0.1\frac{m}{s}$, $\Delta t = 60s$ e $l = 80\frac{cal}{g} = 336\frac{J}{g}$. Substituindo:

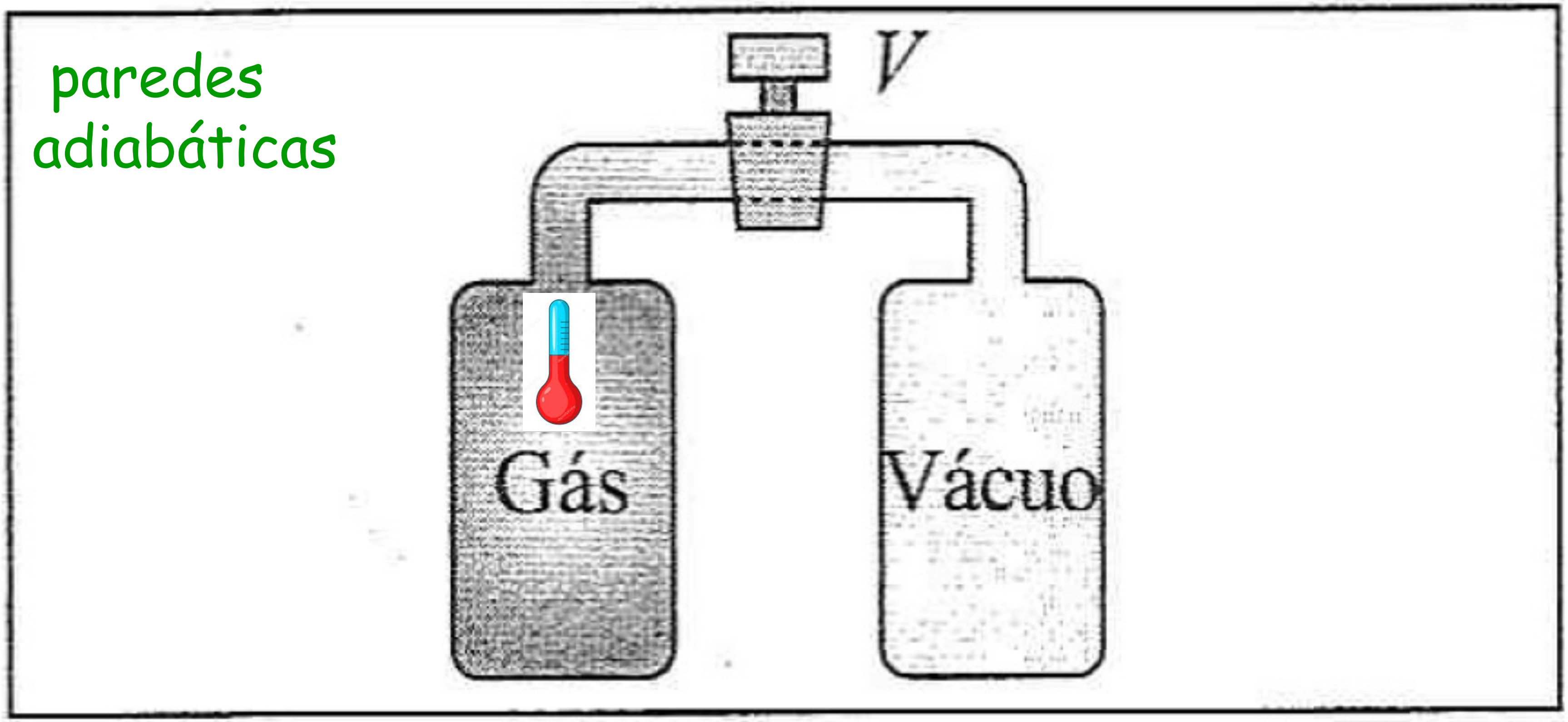
$$\boxed{m_d = \frac{1000 \times 9.81 \times \sin(10) \times 0.1 \times 60}{336} \approx 30g}$$

Fim


H. Moysés
Nussenzveig
Fluidos
2 Oscilações e Ondas
Calor
CURSO DE
FÍSICA
BÁSICA

Energia interna do gás ideal

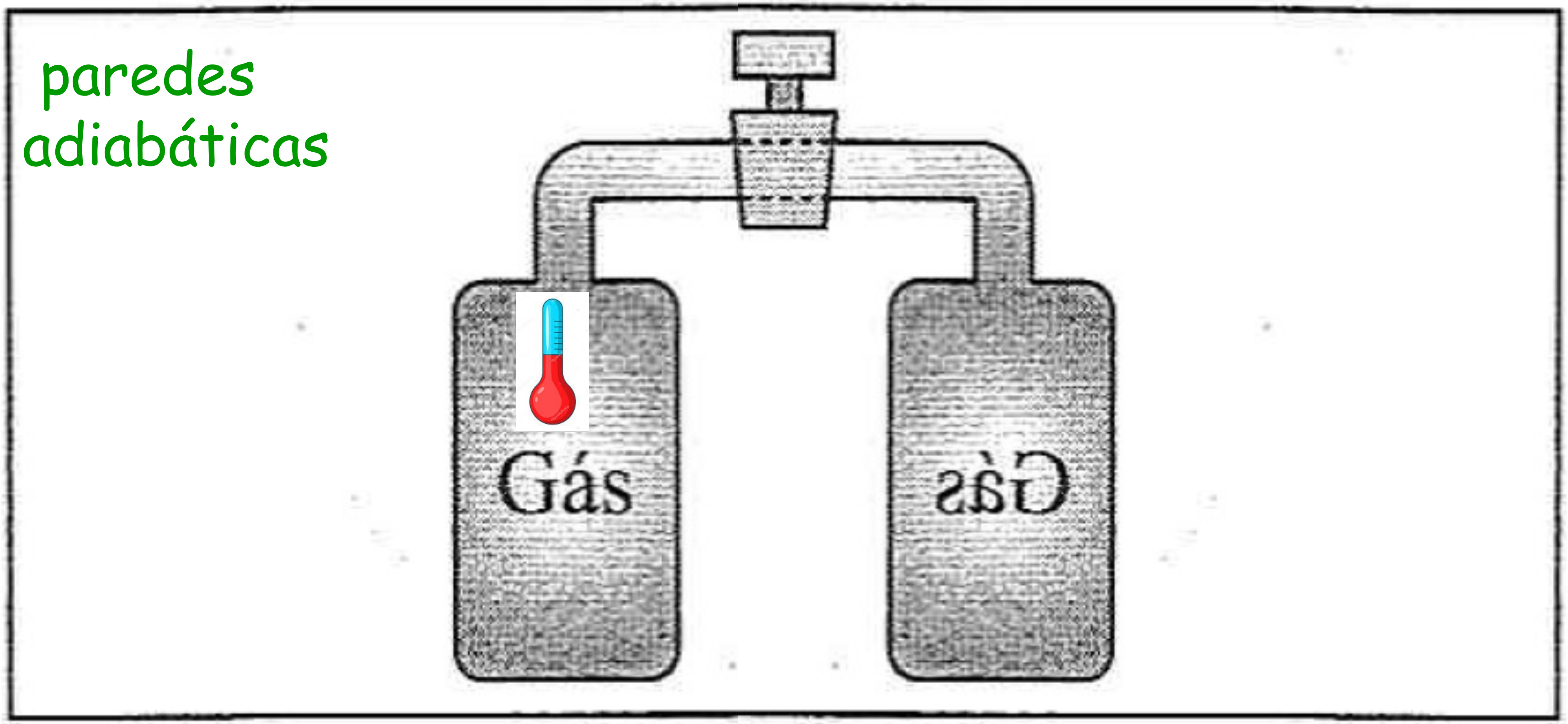
Experiência de Joule com expansão livre



$$Q = \Delta U + W \qquad Q = 0 \qquad \Delta U = -W$$

Energia interna do gás ideal

Experiência de Joule com expansão livre



$$\Delta U = -W \neq 0 \qquad \Delta T = 0$$