



UNILA

Universidade Federal
da Integração
Latino-Americana

Revisão Termodinâmica

Prof. Carlos H. Coimbra-Araújo
Mestrado em Física Aplicada
Universidade Federal da Integração Latino-Americana

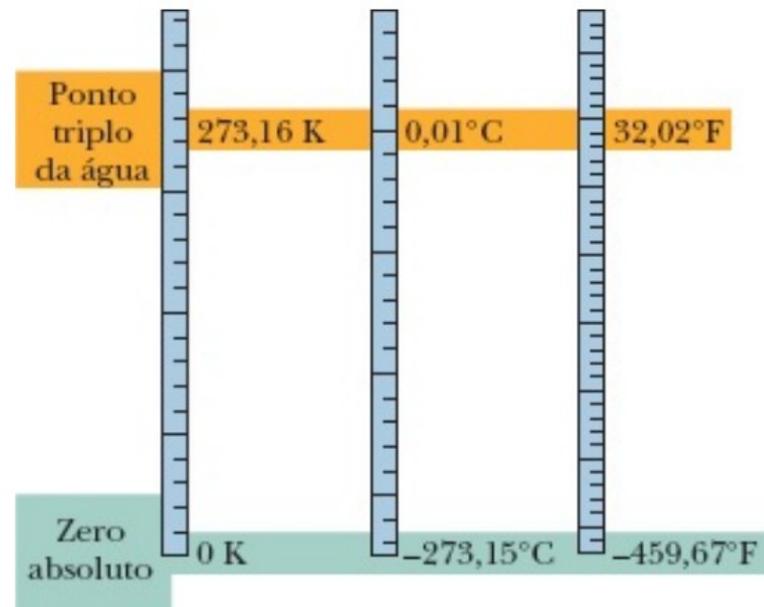
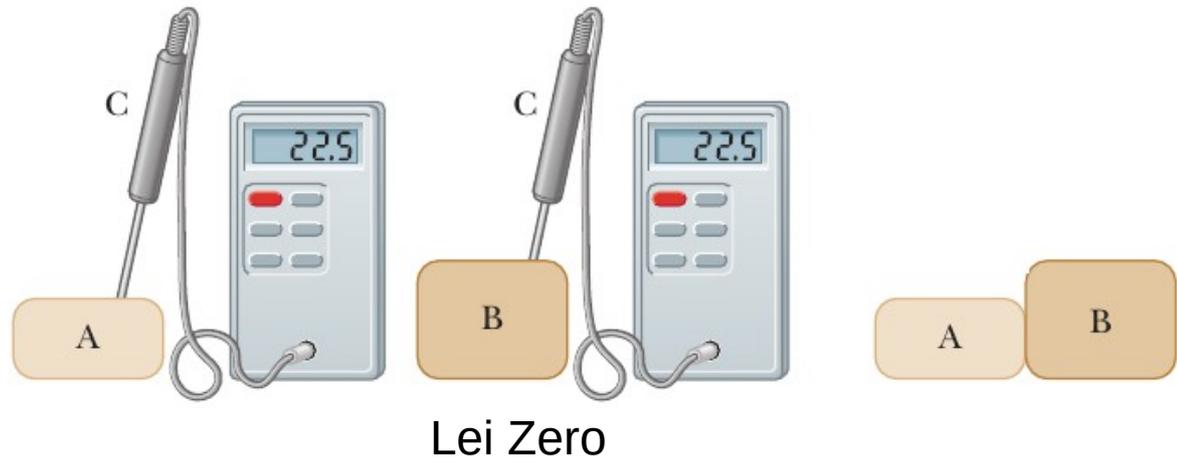
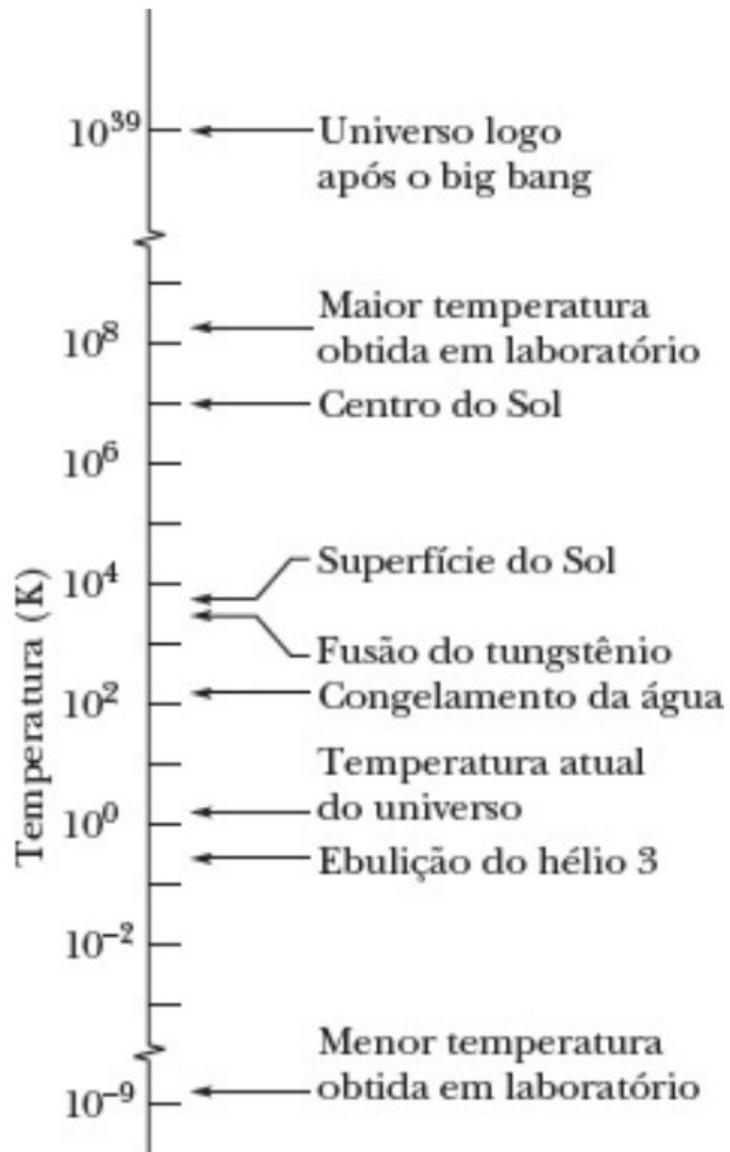
Temperatura e Lei Zero

- Temperatura: vibração de moléculas de um fluido devido a alguma perturbação (ex: radiação infravermelha) → sensação de calor ou de frio
- No SI → Kelvin (K)
- Lei zero da termodinâmica



Se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo T , então A e B estão em equilíbrio térmico entre si.

Temperatura

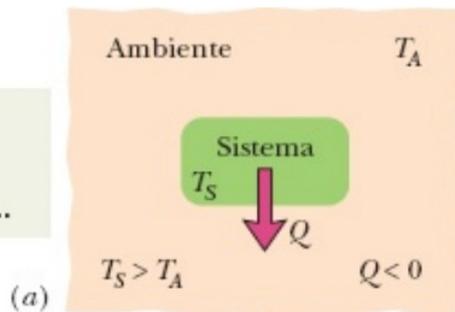


Temperatura	°C	°F
Ponto de ebulição da água ^a	100	212
Temperatura normal do corpo	37,0	98,6
Temperatura confortável	20	68
Ponto de congelamento da água ^a	0	32
Zero da escala Fahrenheit	≈ -18	0
Coincidência das escalas	-40	-40

Calor

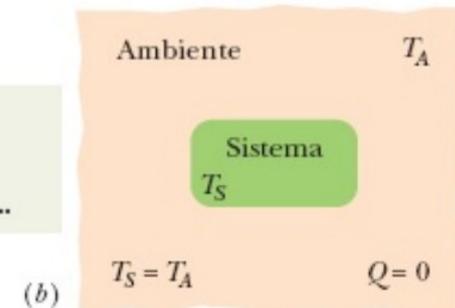
- Fluxo de energia entre reservatórios de maior temperatura a um de menor temperatura

Quando a temperatura do sistema é maior ...



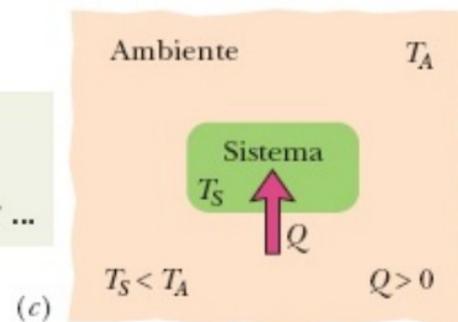
... o sistema perde energia em forma de calor.

Quando a temperatura do sistema é igual ...



... não há transferência de energia.

Quando a temperatura do sistema é menor ...



... o sistema recebe energia na forma de calor.

$$1 \text{ cal} = 3,968 \times 10^{-3} \text{ Btu} = 4,1868 \text{ J}$$

Calor transferido para sólidos

Calor absorvido por um sólido:

$$Q = C(T_f - T_i)$$

Capacidade térmica do sólido

ou

$$Q = cm(T_f - T_i)$$

Calor específico

Durante uma mudança de fase (exemplo, gelo → água, água → vapor), a temperatura do processo é constante e a fórmula acima não vale mais. A transferência de calor durante uma mudança de fase é dada pelo calor de transformação L :

$$Q = Lm$$

Tabela 18-3 Alguns Calores Específicos e Calores Específicos Molares à Temperatura Ambiente

Substância	Calor Específico		Calor Específico Molar
	cal/g · K	J/kg · K	J/mol · K
<i>Sólidos Elementares</i>			
Chumbo	0,0305	128	26,5
Tungstênio	0,0321	134	24,8
Prata	0,0564	236	25,5
Cobre	0,0923	386	24,5
Alumínio	0,215	900	24,4
<i>Outros Sólidos</i>			
Latão	0,092	380	
Granito	0,19	790	
Vidro	0,20	840	
Gelo (a -10°C)	0,530	2220	

Líquidos

Mercúrio	0,033	140
Etanol	0,58	2430
Água do mar	0,93	3900
Água doce	1,00	4187

Tabela 18-4 Alguns Calores de Transformação

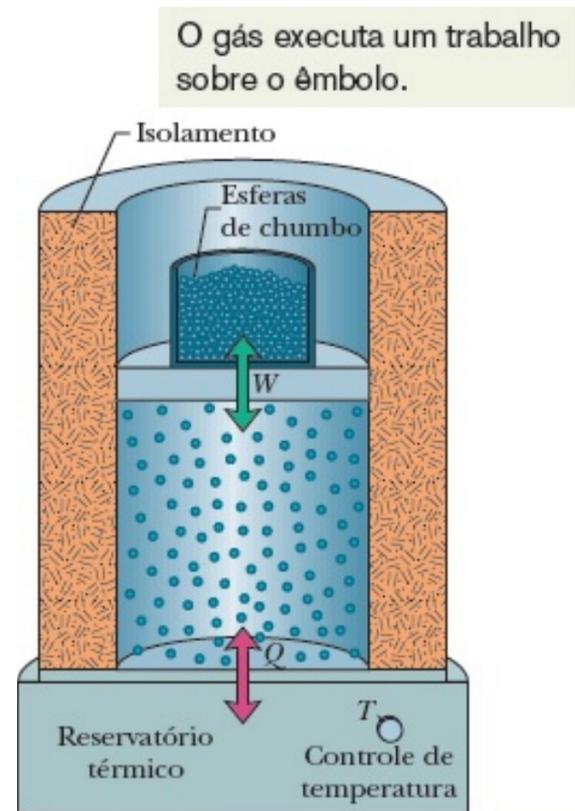
Substância	Fusão		Ebulição	
	Ponto de Fusão (K)	Calor de Fusão L_f (kJ/kg)	Ponto de Ebulição (K)	Calor de Vaporização L_v (kJ/kg)
Hidrogênio	14,0	58,0	20,3	455
Oxigênio	54,8	13,9	90,2	213
Mercúrio	234	11,4	630	296
Água	273	333	373	2256
Chumbo	601	23,2	2017	858
Prata	1235	105	2323	2336

Trabalho

- Quando um processo térmico envolve expansão (ou compressão), o trabalho realizado é escrito como

$$W = \int dW = \int_{V_i}^{V_f} p dV.$$

No SI: Joules (J)



Processos

O gás passa de i para f e realiza um trabalho positivo.



(a)

O gás também passa de i para f , mas realiza um trabalho *maior*.



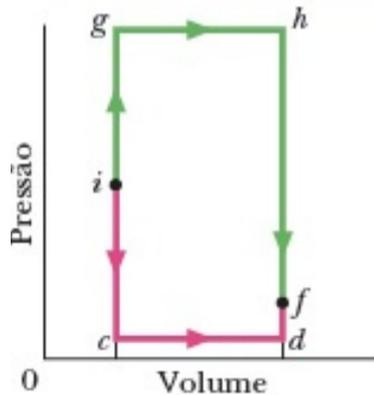
(b)

O gás também passa de i para f , mas realiza um trabalho *menor*.



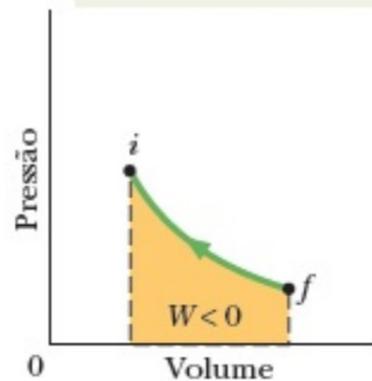
(c)

Podemos controlar a quantidade de trabalho.



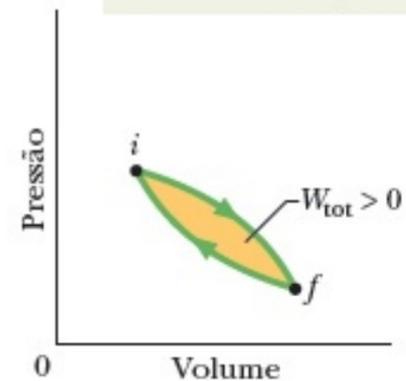
(d)

Ao passar de f para i , o gás realiza um trabalho negativo.



(e)

A um ciclo no sentido horário corresponde um trabalho total positivo.



(f)

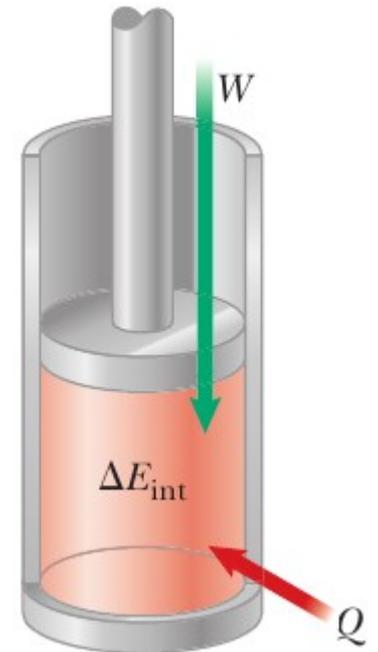
1ª Lei da Termodinâmica

- A energia interna de um sistema tende a aumentar, se acrescentarmos energia na forma de calor Q , e diminuir se removemos na forma de trabalho W .

$$\Delta E_{\text{int}} = E_{\text{int},f} - E_{\text{int},i} = Q - W \quad (\text{primeira lei})$$

ou

$$dE_{\text{int}} = dQ - dW \quad (\text{primeira lei}).$$



1ª Lei da Termodinâmica

Processo	Restrição	Consequência
Adiabático	$Q = 0$	$\Delta E_{\text{int}} = -W$
Volume constante	$W = 0$	$\Delta E_{\text{int}} = Q$
Ciclo fechado	$\Delta E_{\text{int}} = 0$	$Q = W$
Expansão livre	$Q = W = 0$	$\Delta E_{\text{int}} = 0$

Entropia e 2ª Lei da Termodinâmica

- Entropia tem relação com a resposta à seguinte pergunta:
 - Como o nível de desordem aumenta em um sistema termodinâmico?
 - A variação de entropia tem relação com calor transferido mediante a temperatura presente em um sistema



Teorema de Clausius (2ª Lei da Termodinâmica):

Todos os processos irreversíveis em um sistema *fechado* são acompanhados por aumento da entropia.

Alta organização => baixa entropia →

$$dS = \frac{dQ_r}{T}$$

$$\Delta S = \int_i^f dS = \int_i^f \frac{dQ_r}{T}$$

Varição de entropia.

Baixa organização = alta desordem => alta entropia →

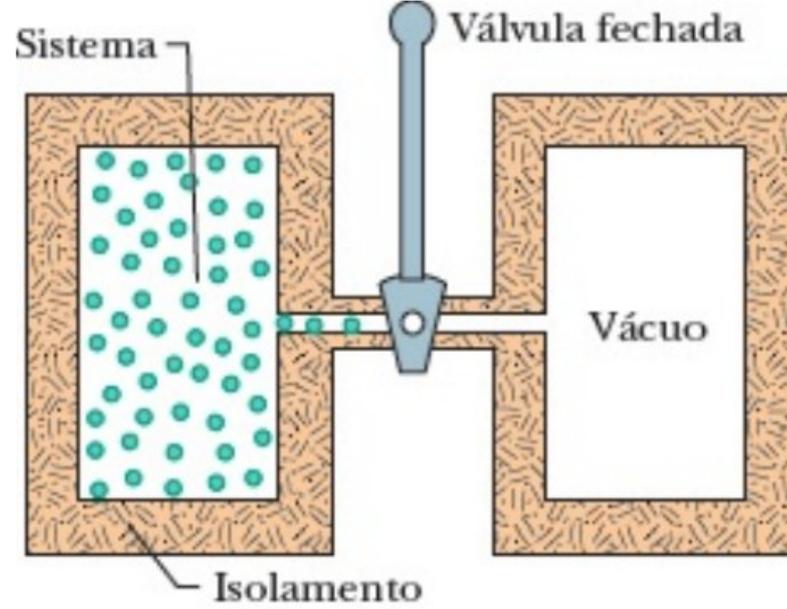


a



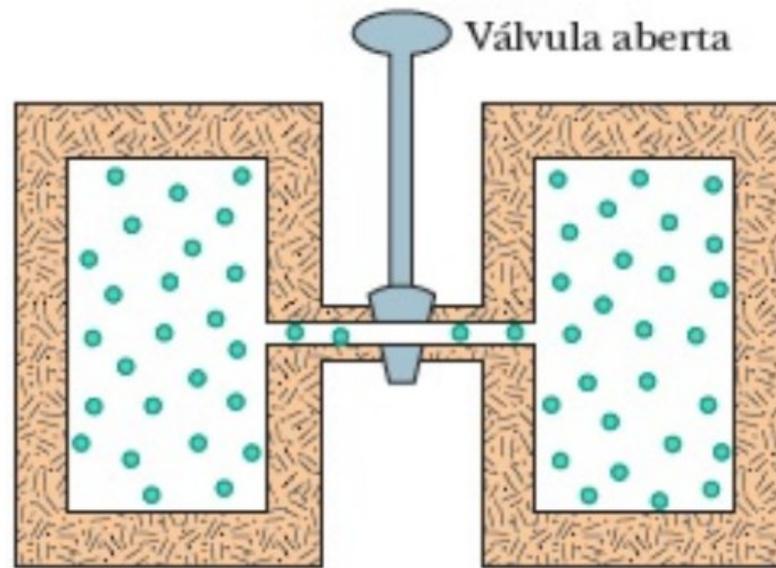
b

Obs.: no ciclo termodinâmico → $\Delta S = 0$



(a) Estado inicial i

Processo irreversível



(b) Estado final f

Expansão livre de um gás ideal

$$pV = nRT \quad (\text{lei dos gases ideais})$$

$$dE_{\text{int}} = dQ - dW.$$

$$dQ = p dV + nC_V dT.$$

$$\Delta S = S_f - S_i = nC_V \ln \frac{T_f}{T_i} + nR \ln \frac{V_f}{V_i}$$

Capacidade térmica a volume constante

