Física do calor

F.S. Navarra

navarra@if.usp.br

edisciplinas.if.usp.br

monitor: Matheus Lazarotto

edifício central Ala I sala 228

matheus_jean_l@hotmail.com

monitoria: sala 211 edifício central

terça feira: 12:00 - 13:00

quarta feira: 18:00 - 19:00

1ª Lei da Termodinâmica:

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

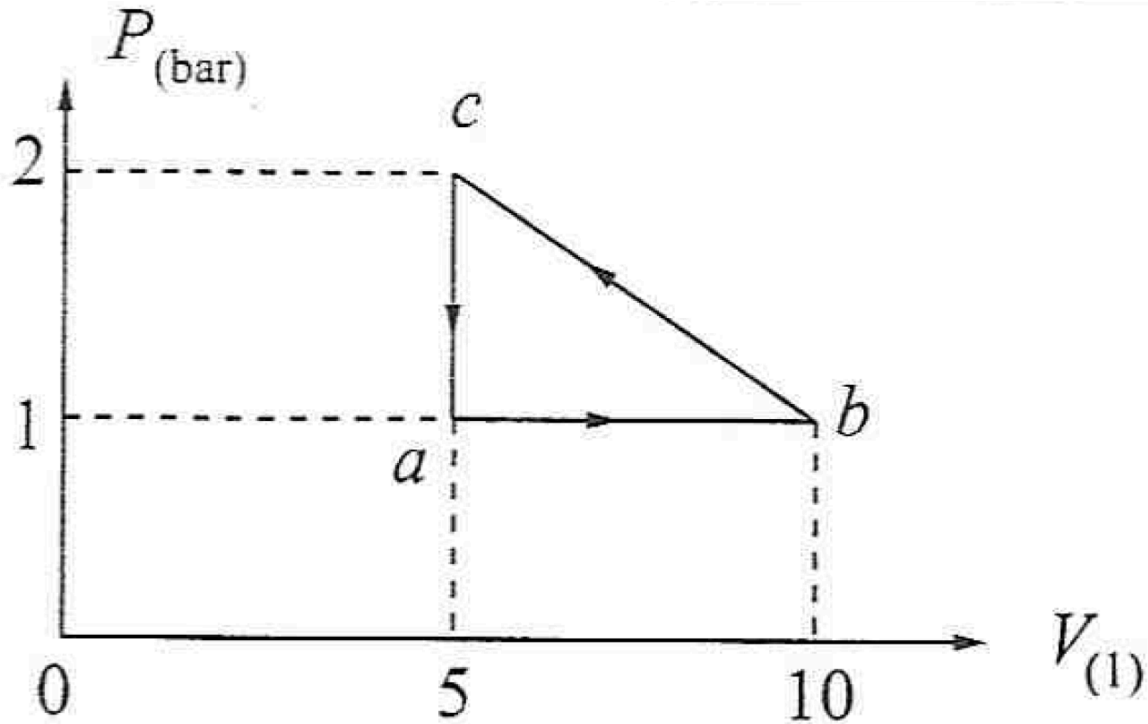
Conservação da energia !!!

Exercícios


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

Problemas do capítulo 8

Capítulo 8
Exercício 19



SI:

1 Pascal = 1 N /m^2

1 bar = 10^5 Pascal

1 litro = 10^{-3} m^3

Complete a tabela

Etapa	W (J)	Q (J)	ΔU (J)
ab		800	
bc			
ca			−100
Ciclo ($abca$)			

I) ab:

W=Área ab:

$W_{ab} = 5.10^{-3}.10^{5} \Rightarrow \boxed{W_{ab} = 500J}$

Pela Primeira lei:

$$\Delta U = Q - W = 800 - 500 \therefore \boxed{\Delta U = 300J}$$

II) ca:

$\boxed{W=0}$

Pela Primeira lei:

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow -100 = Q - 0 \therefore \boxed{Q_{ca} = -100J}$$

III) bc:

W= -Área bc:

$$W_{bc} = -(2+1).10^{5}.\frac{5.10^{-3}}{2} \therefore \boxed{W_{bc} = -750J}$$

$$\Delta U_{ciclo} = 0 = \sum \Delta U = 300 - \Delta U_{bc} - 100 = 0 \therefore \boxed{\Delta U_{bc} = -200J}$$

$$\Delta U = Q - W \Rightarrow -200 = Q + 750 \therefore \boxed{Q_{bc} = -950J}$$

IV) Ciclo:

$$W_{ciclo} = \sum W = 500 - 750 + 0 \therefore \boxed{W_{ciclo} = -250J}$$

$$Q_{ciclo} = \sum Q = 800 - 950 - 100 \therefore \boxed{Q_{ciclo} = -250J}$$

Capítulo 8 Exercício 18

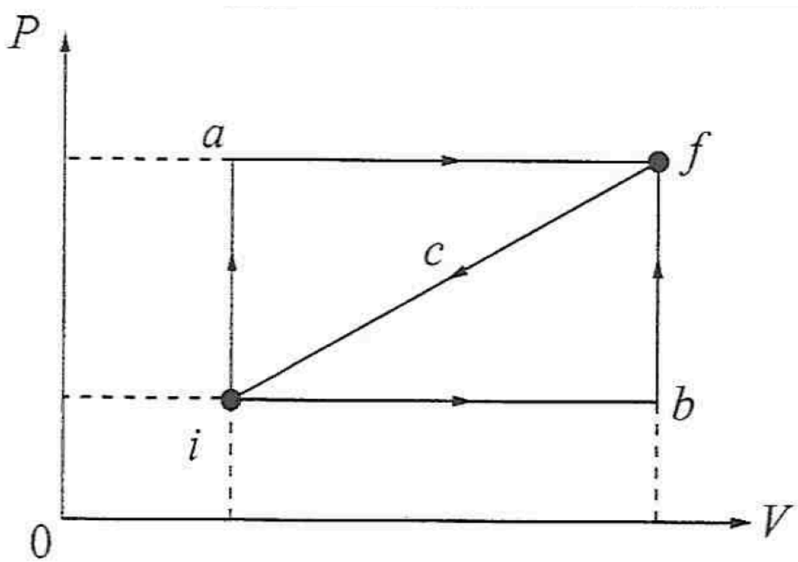
Um fluido homogêneo pode passar de um estado inicial i a um estado final f no plano (P, V) através de dois caminhos diferentes, representados por iaf e ibf no diagrama indicador (Fig. P.3). A diferença de energia interna entre os estados inicial e final é $U_f - U_i = 50$ J. O trabalho realizado pelo sistema na passagem de i para b é de 100 J. O trabalho realizado pelo sistema quando descreve o ciclo ($iafbi$) é de 200 J. A partir destes dados, determine, em magnitude e sinal: (a) a quantidade

a) A quantidade de calor $Q_{(ibf)}$, associada ao caminho *ibf* ;

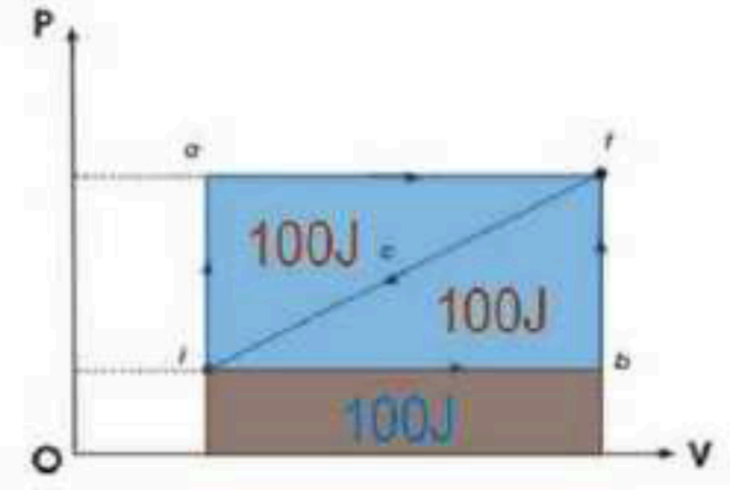
b) O trabalho $W_{i \to f}$;

c) A quantidade de calor $Q_{(iaf)}$ associada ao caminho *iaf* ;

d) Se o sistema regressa do estado final ao estado inicial seguindo a diagonal *fci* do retângulo (fig.), o trabalho $W_{(fci)}$ e a quantidade de calor $Q_{(fci)}$ associados a esse caminho.



Analisando o gráfico, temos:



Portanto:

a) $\Delta U = Q - W \Rightarrow 50 = Q - 100 \therefore \boxed{Q_a = 150J}$

b) $W_{i \to f} = W_{i \to a} + W_{a \to f} + W_{f \to b} + W_{b \to i} = 0 + 200 + 0 + 100 \therefore \boxed{W_{i \to f} = 300J}$

c) $\Delta U = Q - W \Rightarrow 50 = Q - 300 \therefore \boxed{Q_c = 350J}$

d) Pela figura:

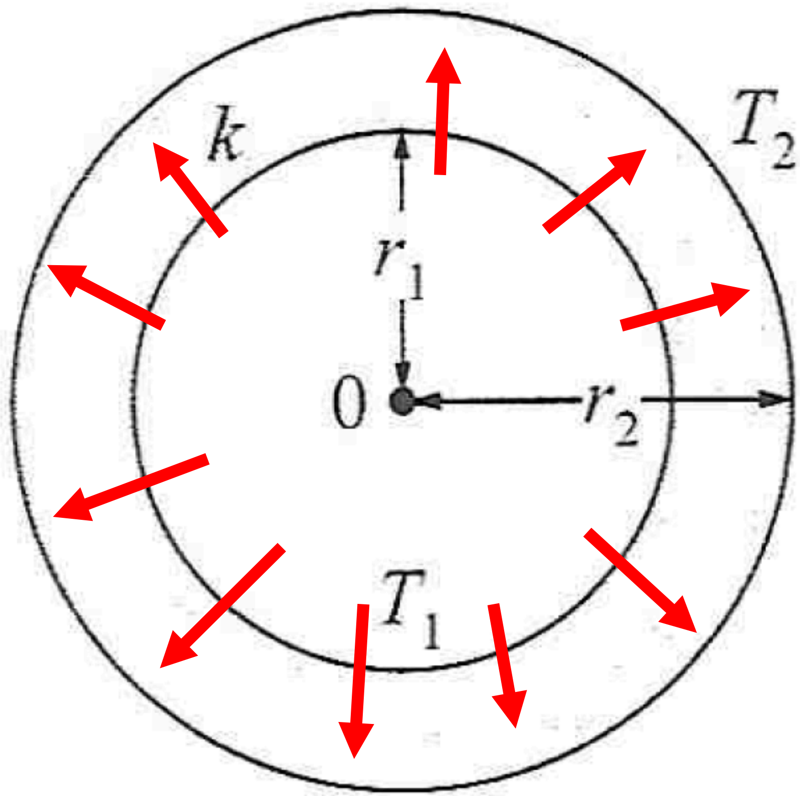
$$\boxed{W_d = -200J}$$

Substituindo:

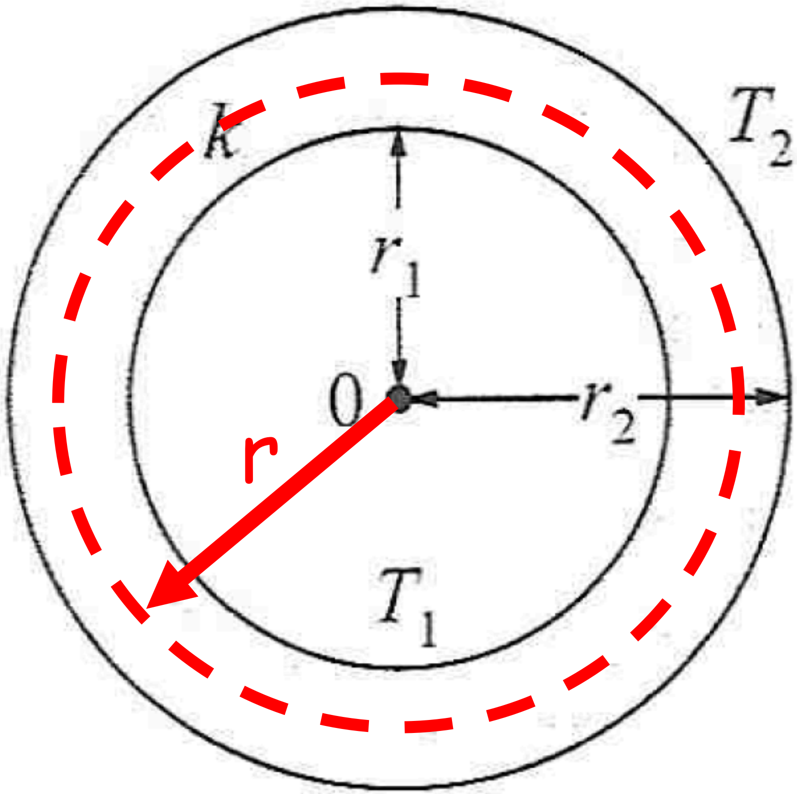
$$\Delta U = Q - W \Rightarrow -50 = Q + 200 \therefore \boxed{Q = -250J}$$

Capítulo 8
Exercício 13

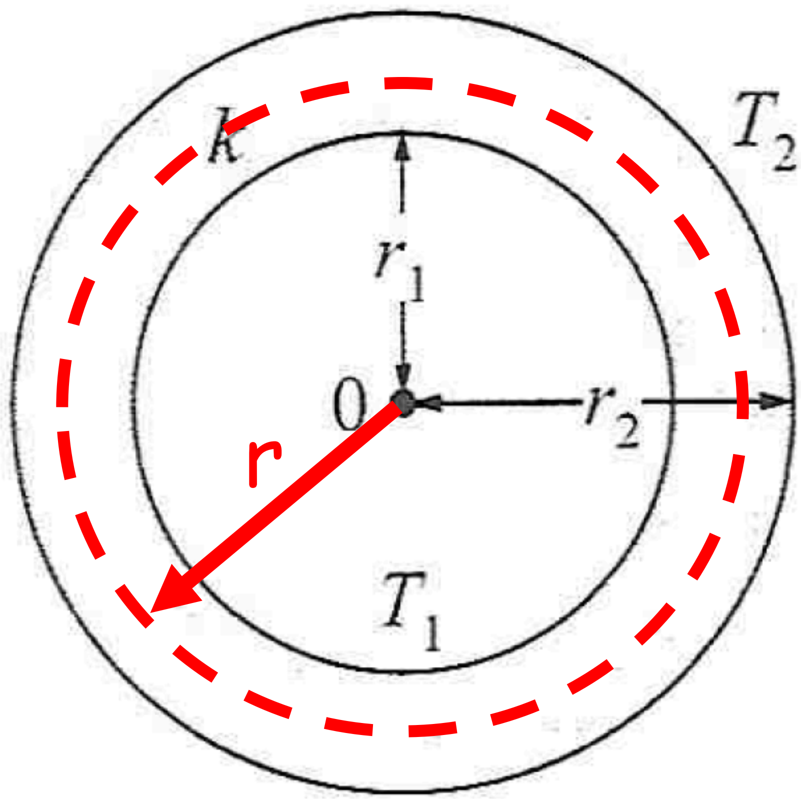
Duas esferas metálicas concêntricas, de raios r_1 e $r_2 > r_1$, são mantidas respectivamente às temperaturas T_1 e T_2, e estão separadas por uma camada de material homogêneo de condutividade térmica k (Fig. P.2). Calcule a taxa de transmissão de calor por unidade de tempo através dessa camada.



Condução de calor $\left\{ \frac{dQ}{dt} = -k\,A\,\frac{dT}{dx} \right.$ $\longrightarrow$ $\frac{dQ}{dt} = -k\,A\,\frac{dT}{dr}$



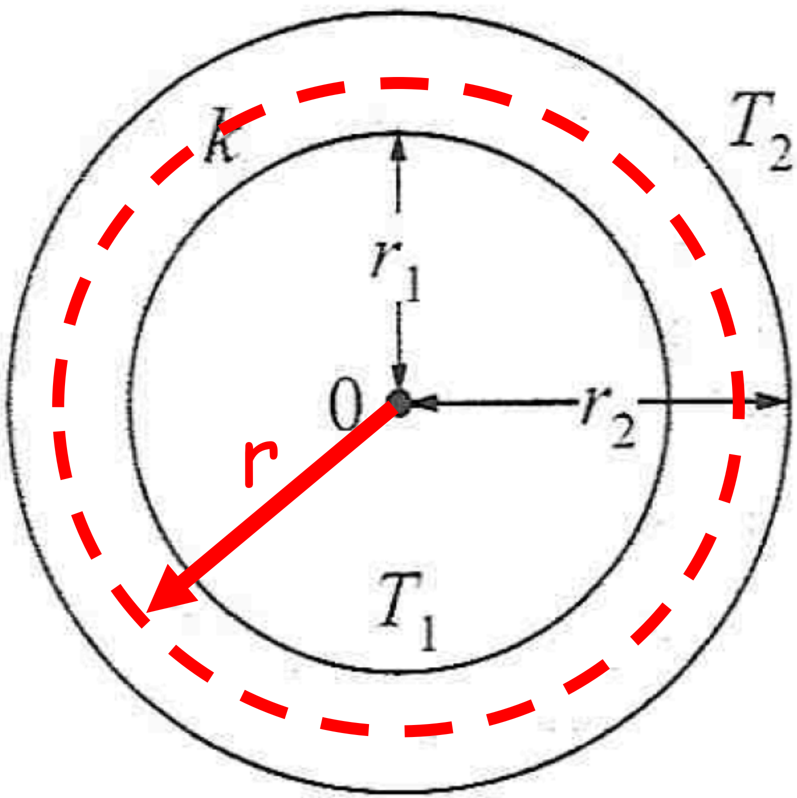
Condução de calor $\left\{ \dfrac{dQ}{dt} = -k\,A\,\dfrac{dT}{dx} \right.$ $\longrightarrow$ $\dfrac{dQ}{dt} = -k\,A\,\dfrac{dT}{dr}$



Regime estacionário:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha$$ (constante)

Condução de calor $\left\{ \frac{dQ}{dt} = -k\,A\,\frac{dT}{dx} \right.$ $\longrightarrow$ $\frac{dQ}{dt} = -k\,A\,\frac{dT}{dr}$

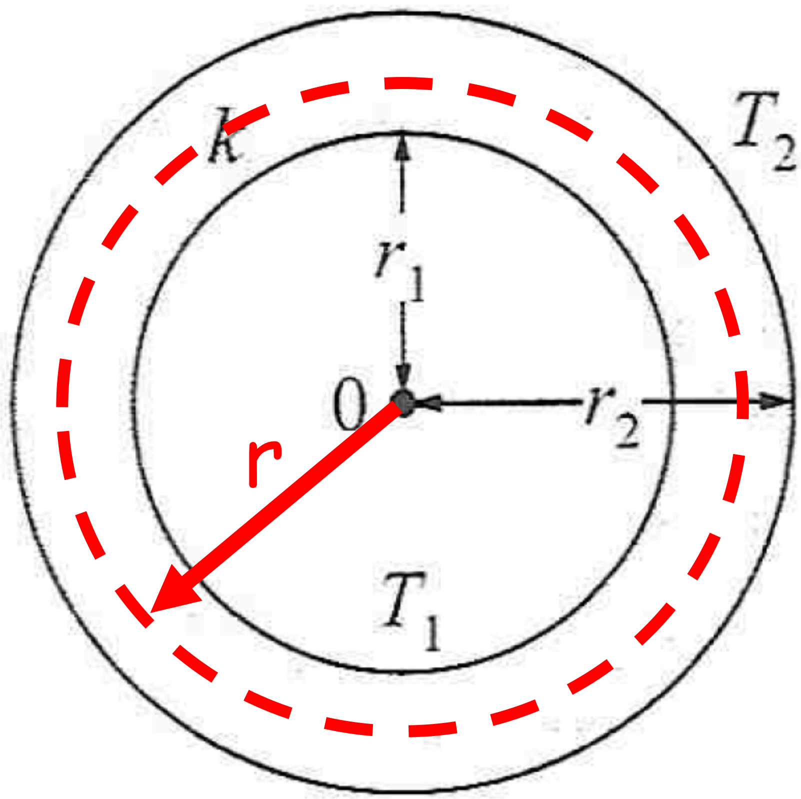


Regime estacionário:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \quad \text{(constante)}$$

$$A = 4\,\pi\,r^2$$

Condução de calor $\left\{ \dfrac{dQ}{dt} = -k\,A\,\dfrac{dT}{dx} \right.$ $\rightarrow$ $\dfrac{dQ}{dt} = -k\,A\,\dfrac{dT}{dr}$



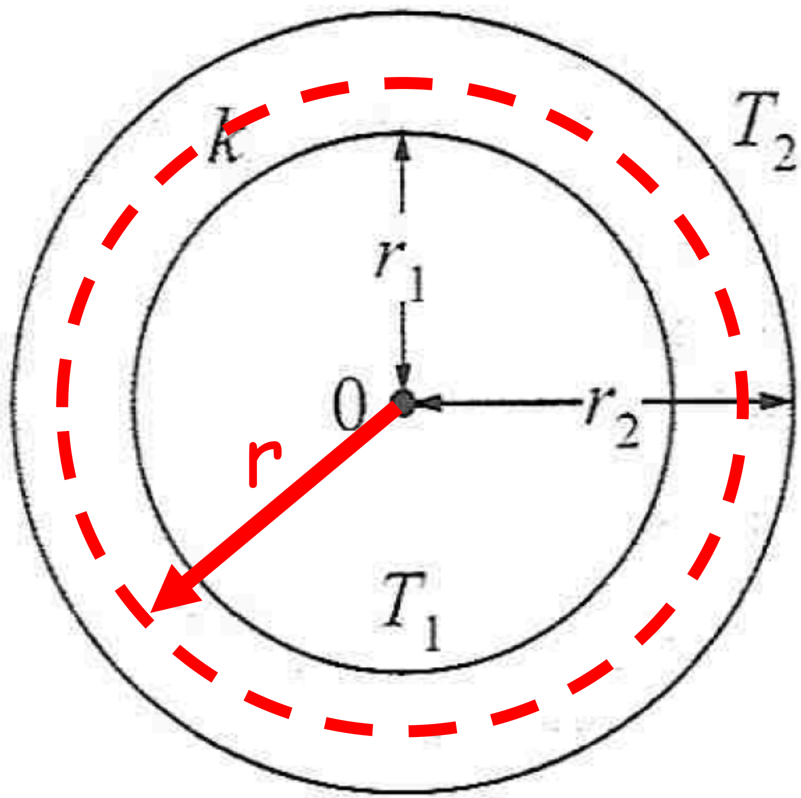
Regime estacionário:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \qquad \text{(constante)}$$

$$A = 4\,\pi\,r^2$$

$$\alpha = -k\,4\,\pi\,r^2\,\frac{dT}{dr}$$

Condução de calor $\left\{ \frac{dQ}{dt} = -k\,A\,\frac{dT}{dx} \right.$ $\rightarrow$ $\frac{dQ}{dt} = -k\,A\,\frac{dT}{dr}$



Regime estacionário:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \quad \text{(constante)}$$

$$A = 4\,\pi\,r^2$$

$$\alpha = -k\,4\,\pi\,r^2\,\frac{dT}{dr}$$

$$-\frac{dr}{r^2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}\,dT$$

$$- \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$- \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}\,(T_2 - T_1) \Rightarrow \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}\,(T_1 - T_2)$$

$$-\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}(T_2 - T_1) \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}(T_1 - T_2)$$

$$\frac{r_2 - r_1}{r_1\,r_2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}(T_1 - T_2)$$

$$-\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}\,(T_2 - T_1) \Rightarrow \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}\,(T_1 - T_2)$$

$$\frac{r_2 - r_1}{r_1\,r_2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}\,(T_1 - T_2)$$

$$\alpha = 4\,\pi\,k\,\frac{r_2\,r_1}{r_2 - r_1}\,(T_1 - T_2)$$

$$-\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}\,(T_2 - T_1) \rightarrow \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}\,(T_1 - T_2)$$

$$\frac{r_2 - r_1}{r_1\,r_2} = \frac{k\,4\,\pi}{\alpha}\,(T_1 - T_2)$$

$$\alpha = 4\,\pi\,k\,\frac{r_2\,r_1}{r_2 - r_1}\,(T_1 - T_2)$$

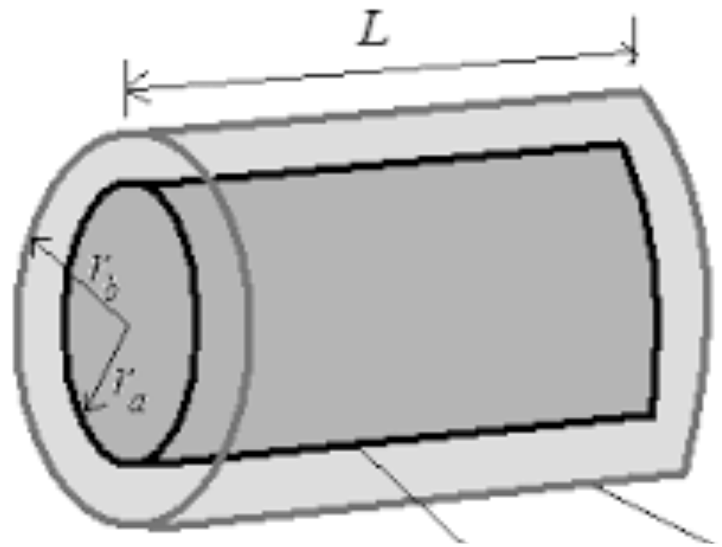
$$\boxed{\frac{dQ}{dt} = 4\,\pi\,k\,\frac{r_2\,r_1}{r_2 - r_1}\,(T_1 - T_2)}$$

Capítulo 8
Exercício 14

14 – Generalize o resultado do Problema 13 ao caso da condução do calor através de uma camada de material de condutividade térmica k entre dois cilindros concêntricos de raios ρ_1 e $\rho_2 > \rho_1$ e de comprimento $l >> \rho_2$, de modo que se possam desprezar efeitos das extremidades.

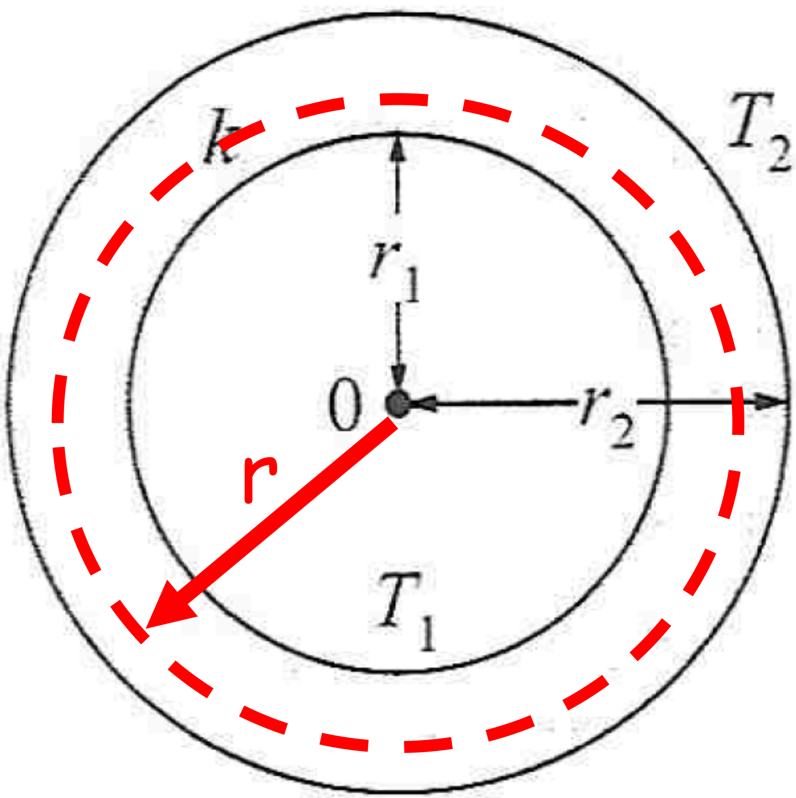
a) Calcule a taxa de transmissão de calor por unidade de tempo através da camada.

b) Aplique o resultado a uma garrafa térmica cilíndrica, com $\rho_1 = 5$ cm, $\rho_2 = 5{,}5$ cm e $l = 20$ cm, com uma camada de ar entre as paredes interna e externa. A condutividade térmica do ar é de $5{,}7 \times 10^{-5}$ cal/s.cm.°C. A garrafa contém café inicialmente a 100°C e a temperatura externa é de 25°C. Quanto tempo demora para que o café esfrie até a temperatura ambiente?



Condução de calor $\left\{ \frac{dQ}{dt} = -k\,A\,\frac{dT}{dx} \right.$ $\longrightarrow$ $\frac{dQ}{dt} = -k\,A\,\frac{dT}{dr}$

Vista superior:



Regime estacionário:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \qquad \text{(constante)}$$

$$A = 2\,\pi\,r\,L$$

$$\alpha = -k\,2\,\pi\,r\,L\,\frac{dT}{dr}$$

$$-\frac{dr}{r} = \frac{k\,2\,\pi\,L}{\alpha}\,dT$$

$$-\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{k\,2\,\pi\,L}{\alpha} \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$-\,ln\,(\frac{r_2}{r_1}) = \frac{k\,2\,\pi\,L}{\alpha}\,(T_2 - T_1)$$

$$ln\,(\frac{r_2}{r_1}) = \frac{k\,2\,\pi\,L}{\alpha}\,(T_1 - T_2)$$

$$\alpha = \frac{k\,2\,\pi\,L}{ln\,(\frac{r_2}{r_1})}\,(T_1 - T_2)$$

$$\boxed{\frac{dQ}{dt} = \frac{k\,2\,\pi\,L}{ln\,(\frac{r_2}{r_1})}\,(T_1 - T_2)}$$

a)

$$\frac{dQ}{dt} = k.A.\frac{(T - T_o)}{l} = k.2\pi.\rho.l.\frac{(T - T_o)}{d\rho} = \frac{k.2\pi.l.(T - T_o)}{\frac{1}{\rho}.d\rho} = \frac{k.2\pi.l.(T - T_o)}{\int_{\rho_1}^{\rho_2}\frac{1}{\rho}.d\rho}$$

$$\therefore \boxed{\frac{dQ}{dt} = \frac{k.2\pi.l.(T - T_o)}{\ln\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)}}$$

b) Substituindo os valores temos:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{k.2\pi.l.(T - T_o)}{\ln\left(\frac{\rho_2}{\rho_1}\right)} = \frac{2\pi.5{,}7.10^{-5}.20.(-75)}{\ln\left(\frac{5{,}5}{5}\right)} \therefore \frac{dQ}{dt} = -5{,}636\frac{cal}{s}$$

O volume de café que há dentro da garrafa é:

$$V_c = \pi\rho_1^2.l = \pi.5^2.20 \Rightarrow V_c = 1570{,}8cm^3$$

Como café é basicamente água, temos que sua densidade e seu calor específico são aproximadamente 1. Logo, o calor (Q) dissipado pelo líquido é de:

$$Q = m_c.c.\Delta T = (1570{,}8).(1).(1).(-75) \Rightarrow Q = 117809{,}7\ cal$$

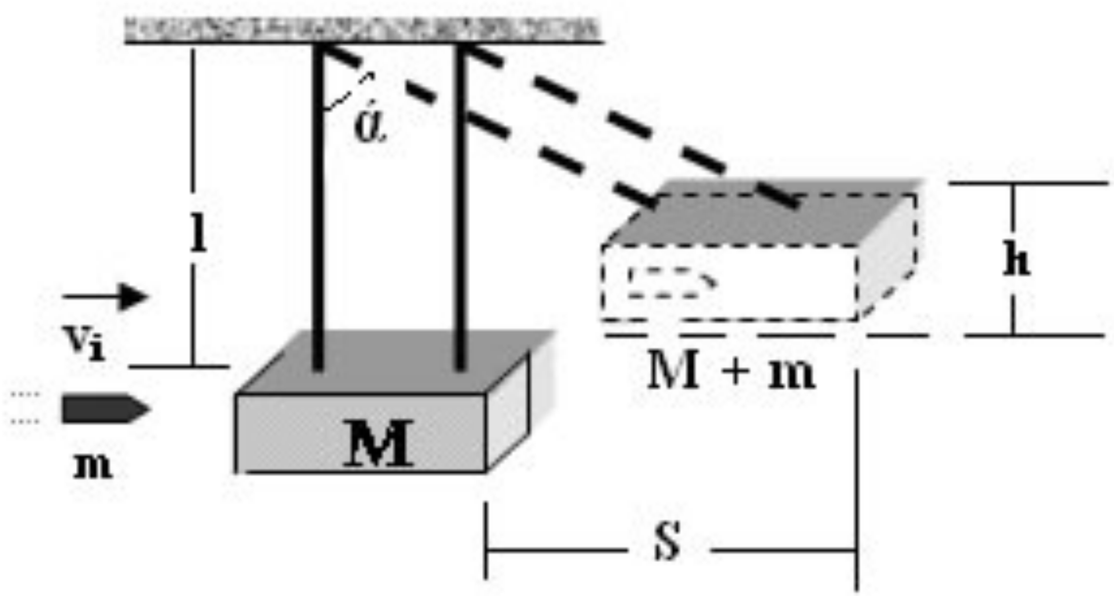
Por fim, temos que o tempo para o café esfriar é:

$$t = \frac{Q}{\frac{dQ}{dt}} = \frac{117809{,}7}{5{,}636}$$

$$\therefore \boxed{t = 20903{,}075\ s\ \cong 5h\ e\ 48\ min}$$

Capítulo 8
Exercício 10

10 – A uma temperatura ambiente de 27°C, uma bala de chumbo de 10g, com uma velocidade de 300 m/s, penetra num pêndulo balístico de massa igual a 200 g e fica retida nele. se a energia cinética dissipada pela bala fosse totalmente gasta em aquecê-la, daria para derreter uma parte dela? Em caso afirmativo, quantas gramas? O calor específico do chumbo é 0,031 cal/g°C, sua temperatura de fusão é de 327°C e o calor latente de fusão é 5,85cal/g.



Analisando a colisão entre a bala e o pêndulo:

$$p_o = p \Rightarrow m.v_o = (M+m).v \Rightarrow v = v_o \frac{m}{(M+m)} \therefore v = 14,29\ m/s$$

A energia cinética dissipada é igual ao módulo da variação da energia cinética da bala. Logo:

$$|T| = \frac{(M+m)}{2}.v^2 - \frac{m}{2}.v_o^2 = \frac{0,21}{2}.(14,29)^2 - \frac{0,01}{2}.(300)^2$$

$$\therefore |T| = 428,6J = 102,4\ cal$$

Para levar os 10g de chumbo até a temperatura de ebulição, necessita-se de:

$$Q = m.c.\Delta T = (10).(0,031).(300) = 93\ cal$$

Portanto,

SIM, uma certa quantia de chumbo será derretida pela dissipação da energia cinética.

Como 93 cal já foram utilizados para levar o chumbo até a temperatura de ebulição, temos que:

$$Q = m_d.L \Rightarrow 102,4 - 93 = m_d.5,85 \Rightarrow m_d = \frac{9,4}{5,85}$$

$$\therefore \boxed{m_d = 1,6g}$$

Capítulo 8
Exercício 15

15 - Uma chaleira de alumínio contendo água em ebulição, a 100°C, está sobre uma chama. O raio do fundo da chaleira é de 7,5 cm e sua espessura é de 2 mm. a condutividade térmica do alumínio é 0,49 cal/s.cm.°C. A chaleira vaporiza 1 *l* de água em 5 min. O calor de vaporização da água a 100°C é de 540 cal/g. A que temperatura está o fundo da chaleira? Despreze as perdas pelas superfícies laterais.

1*l* de água = 1000 g de água

5 min = 300 s

Em 5 minutos:

$Q = m \, . \, L = 1000 \, . \, 540 = 5{,}4 \times 10^5$ cal

$$k = 0.49 \frac{cal}{s\, cm\, {}^oC}$$

$$A = \pi \times 7.5^2 \, cm^2$$

$$L = 0,2\, cm$$

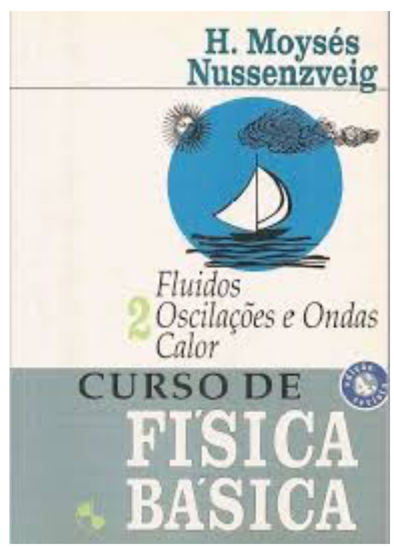
$$\frac{dQ}{dt} = k\, A\, \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$$1800 = 0{,}49.[\pi.(7{,}5)^2].\frac{(T-100)}{0{,}2}$$

$$\boxed{T = 104{,}16°C}$$

Capítulo 9

Propriedades dos gases



Equação de estado do gás : $f(P, V, T) = 0$

Experiência de Boyle:

$$p = p_0 + \rho g h$$

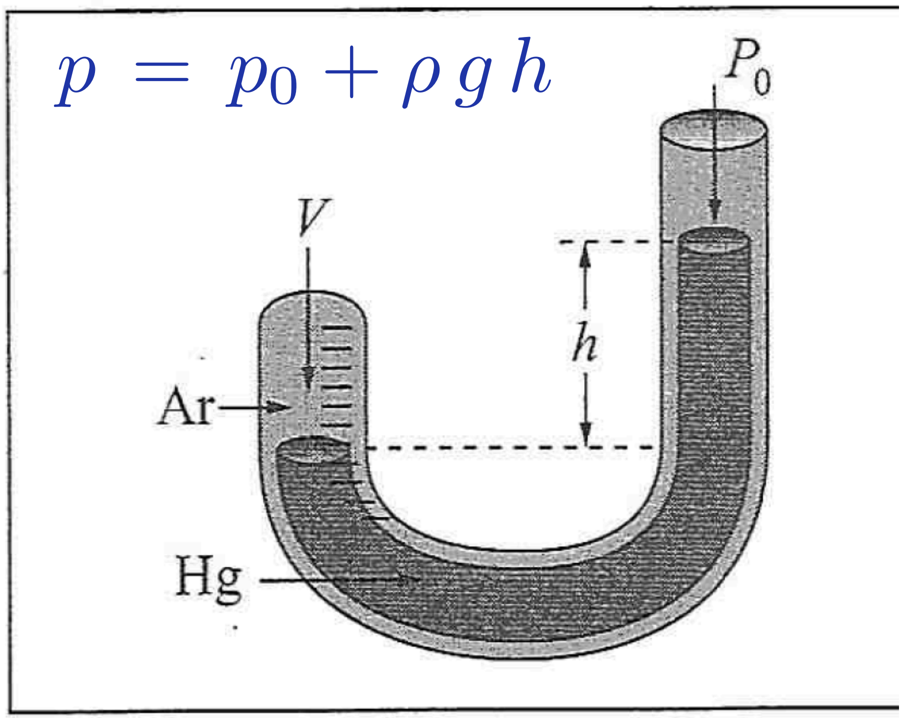


Figura 9.1 — Experimento de Boyle

Robert Boyle

"A Mola do Ar"

$$\boxed{pV = k}$$

k = constante

Lei de Boyle

Temperatura constante

Lei de Charles:

Jacques Charles

Dilatação volumétrica dos fluidos

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta\,\Delta T$$

$$V = V_0\,[1 + \beta\,(T - T_0)]$$

Beta é o mesmo para todos os gases

$$\beta \simeq \frac{1}{273}\,[{}^0C]^{-1}$$

$$T_0 = 273\,{}^0\,K$$

Pressão constante

Tempertura absoluta

$$\boxed{\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0}}$$

Lei de Charles

Equação de estado do gás ideal

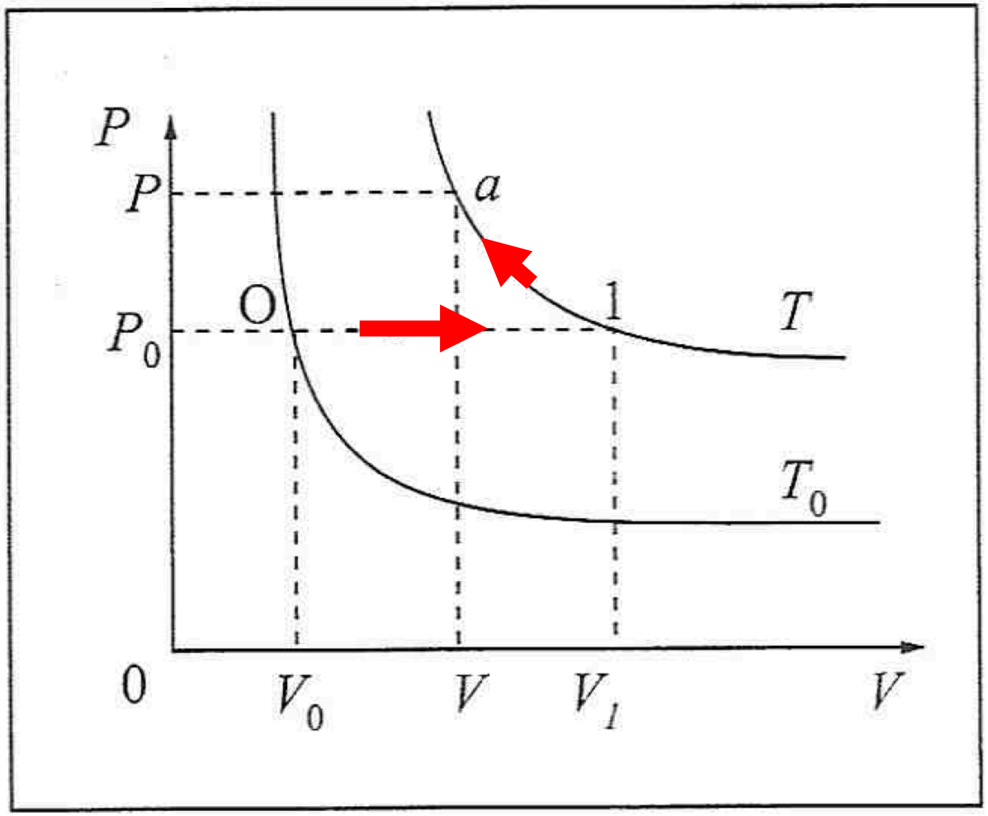


Figura 9.2

O -> 1 $\quad p_1 = p_0$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1}{T_0}$$ (Charles)

Equação de estado do gás ideal

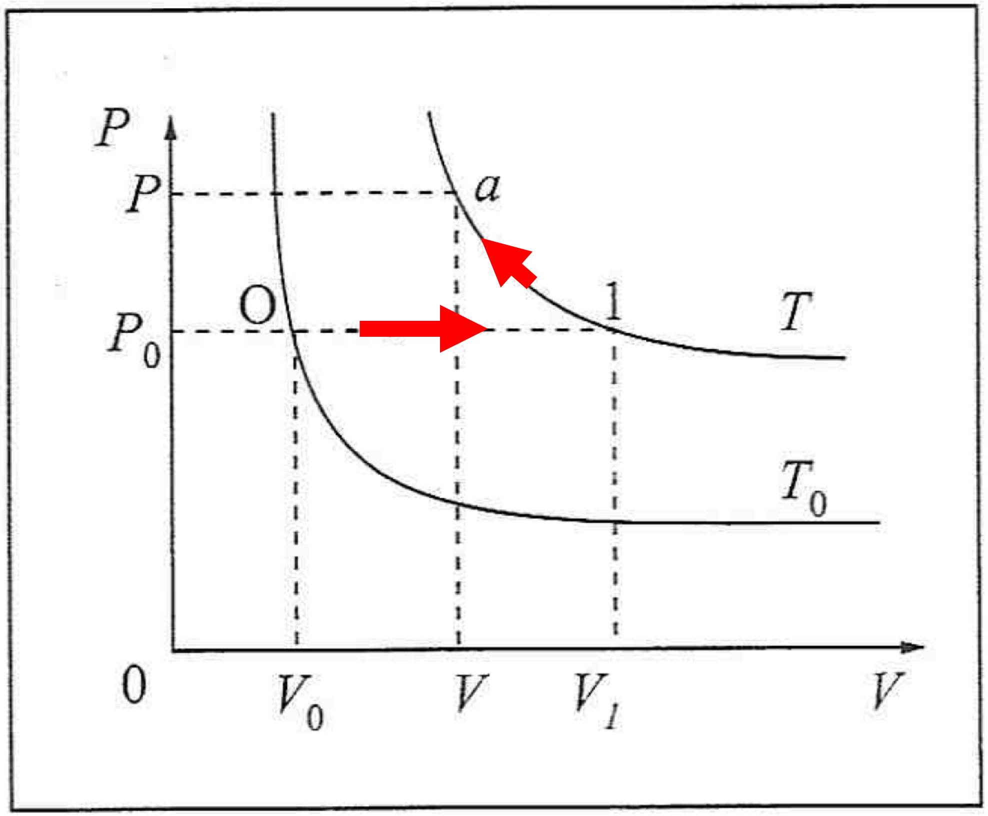


Figura 9.2

O -> 1 $\quad p_1 = p_0$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1}{T_0}$$ (Charles)

1 -> a $\quad T_1 = T$

$$p_1 V_1 = p V$$ (Boyle)

Equação de estado do gás ideal

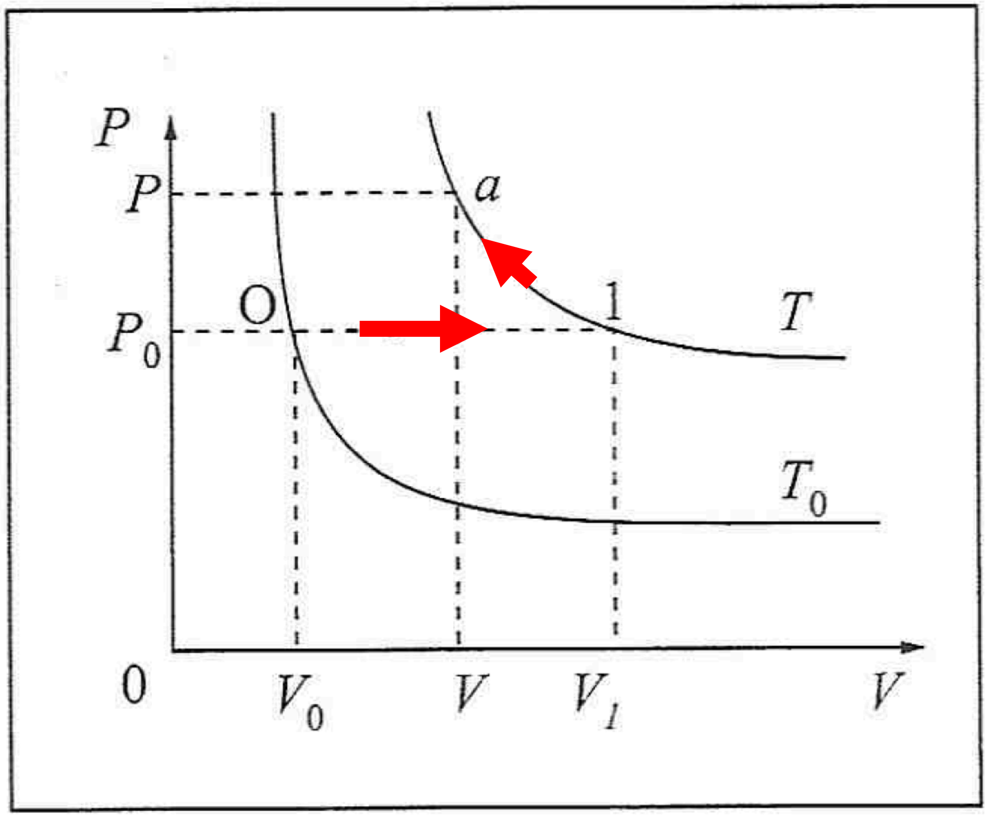


Figura 9.2

O -> 1 $\quad p_1 = p_0$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1}{T_0} \qquad \text{(Charles)}$$

1 -> a $\quad T_1 = T$

$$p_1 V_1 = p V \qquad \text{(Boyle)}$$

Equação de estado do gás ideal

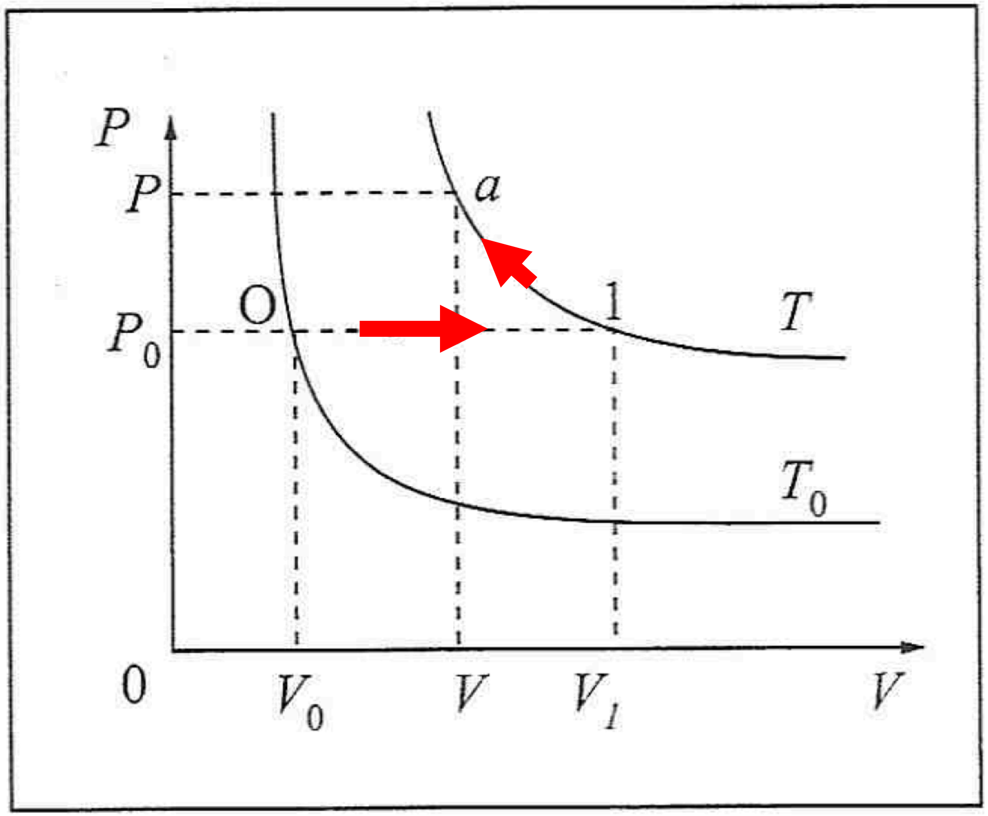


Figura 9.2

O -> 1 $\quad p_1 = p_0$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1}{T_0} \quad \text{(Charles)}$$

1 -> a $\quad T_1 = T$

$$p_1 V_1 = p V \quad \text{(Boyle)}$$

Equação de estado do gás ideal

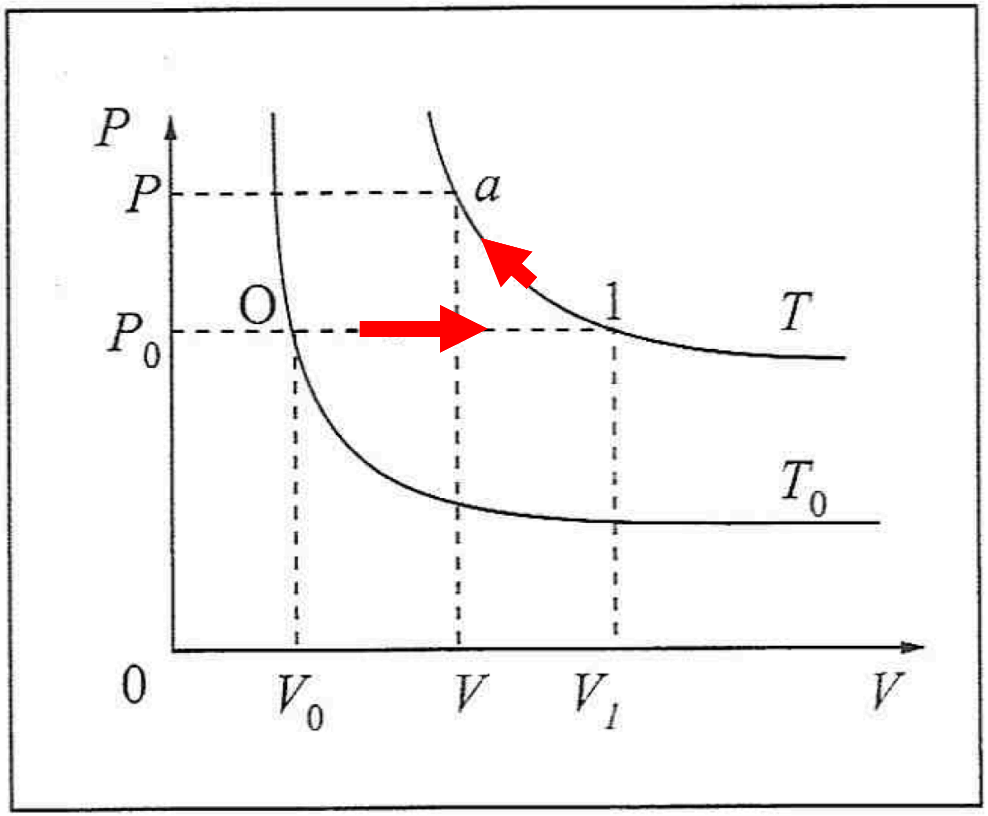


Figura 9.2

O -> 1 $\quad p_1 = p_0$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1}{T_0} \quad \text{(Charles)}$$

1 -> a $\quad T_1 = T$

$$p_1 V_1 = p\,V \quad \text{(Boyle)}$$

Equação de estado do gás ideal

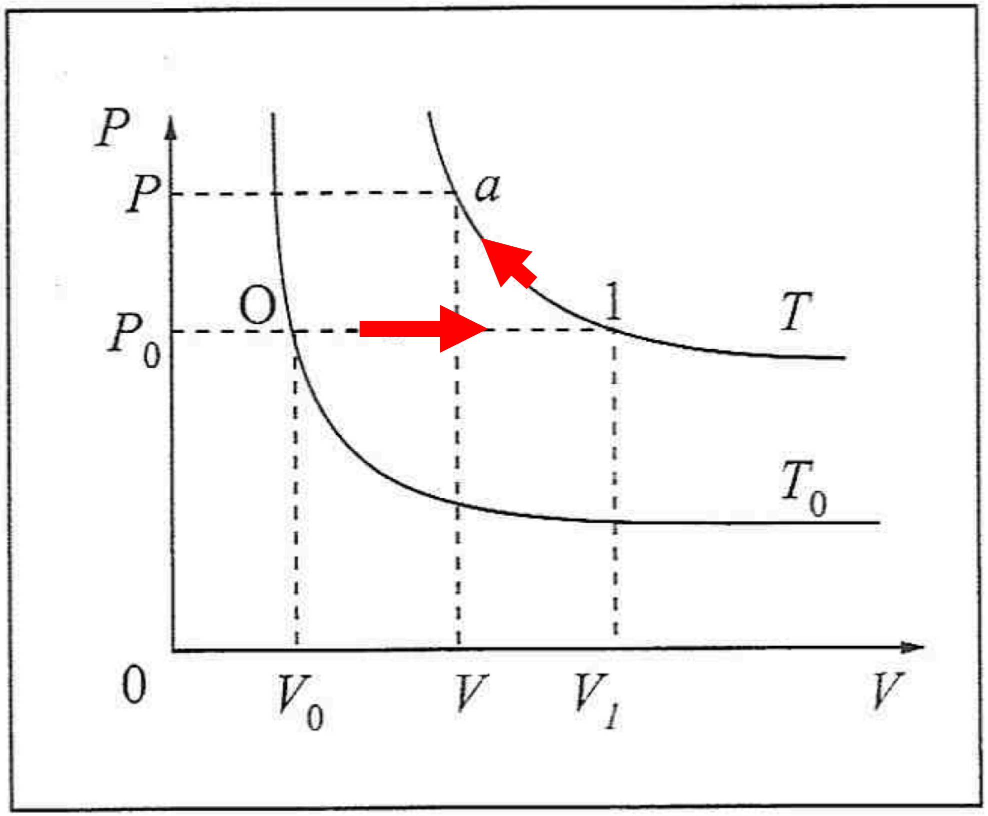


Figura 9.2

O -> 1 $\quad p_1 = p_0$

$$\frac{V_1}{V_0} = \frac{T_1}{T_0} \quad \text{(Charles)}$$

1 -> a $\quad T_1 = T$

$$p_1 V_1 = p V \quad \text{(Boyle)}$$

$$p_0 \frac{V_0}{T_0} T = p V$$

$$\boxed{\frac{p_0 V_0}{T_0} = \frac{p V}{T}}$$

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

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

$$\boxed{p\,V = n\,R\,T}$$

Equação de estado dos gases ideais

$$\left\{\begin{array}{l}\text{n = número de moles do gás}\\ \text{R = constante universal dos gases}\end{array}\right.$$

$$R = 8{,}314\,\frac{J}{mol\,K} = 1{,}98\,\frac{cal}{mol\,K}$$

Fim


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