4300159 – Física do Calor

Primeira Lei da Termodinâmica – IV

Processos Adiabáticos

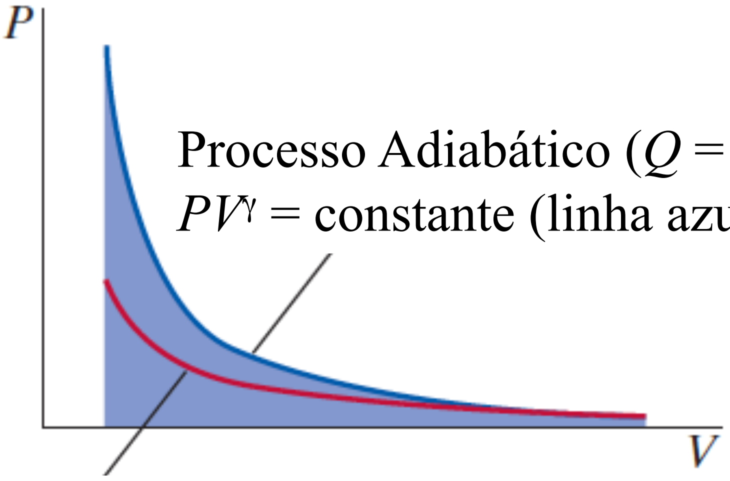
– Um processo termodinâmico é dito adiabático caso ocorra sem trânsito de calor entre o sistema e a vizinhança, $Q = 0$. Nessa caso:

$$dU = -dW = -pdV$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} = \frac{c_P}{c_V}$$

$$\boxed{T_f V_f^{(\gamma-1)} = T_i V_i^{(\gamma-1)}} \qquad \boxed{P_f V_f^{\gamma} = P_i V_i^{\gamma}}$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} > 1$$



Processo Adiabático ($Q = 0$)
PV^{γ} = constante (linha azul)

Processo Isotérmico:
PV = constante (linha vermelha)

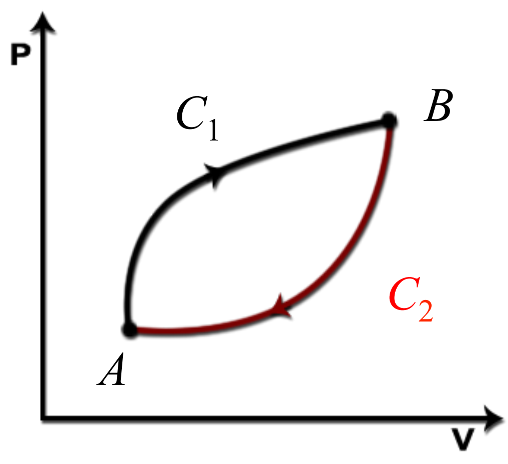
$$TV^{(\gamma-1)} = \text{const}$$

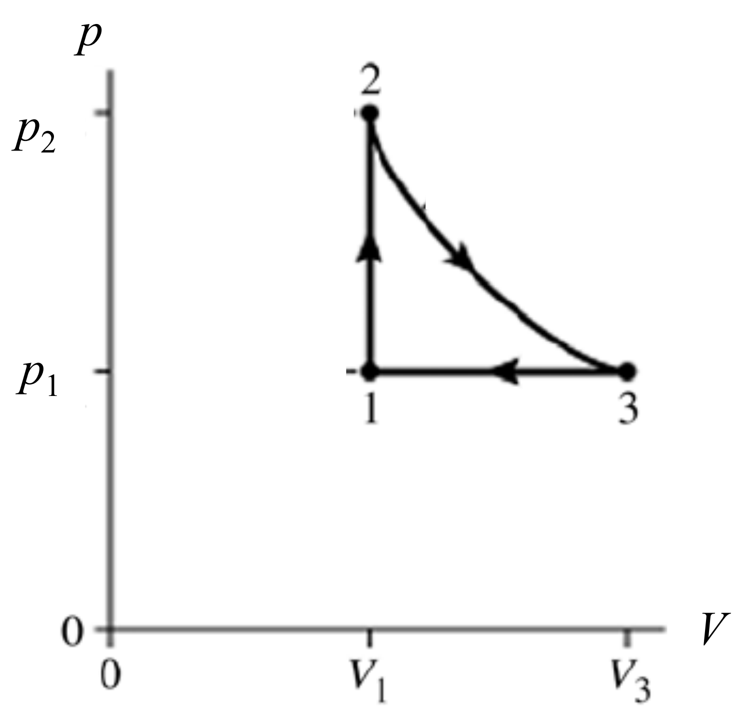
$$PV^{\gamma} = \text{const}'$$

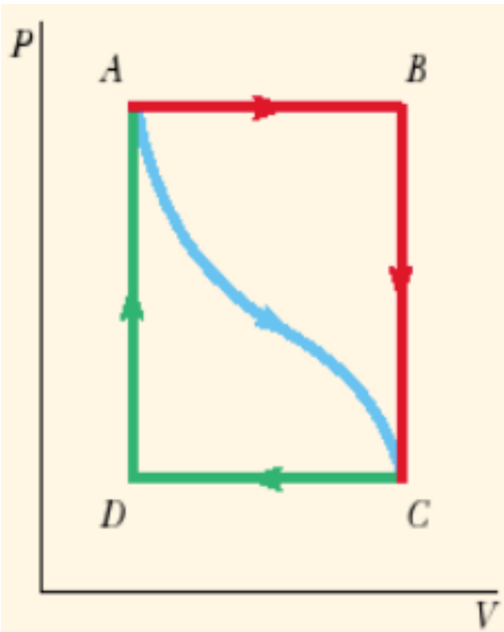
Processos Termodinâmicos Cíclicos

– A representação de um processo quase estático em diagramas *p-V*, *V-T* ou *T-V* é usualmente denominada *caminho* ou *trajetória*.

– Um processo termodinâmico cíclico corresponde a um *caminho fechado*, no qual os estados inicial e final são os mesmos.







Questão) Considere os processos cíclicos ABCDA e ACDA de um gás ideal. A variação de energia interna nos ciclos é tal que:

(a) $\Delta U_{\mathrm{ABCDA}} = 0$ e $\Delta U_{\mathrm{ACDA}} = 0$.

(b) $\Delta U_{\mathrm{ABCDA}} > 0$ e $\Delta U_{\mathrm{ACDA}} > 0$.

(c) $\Delta U_{\mathrm{ABCDA}} < 0$ e $\Delta U_{\mathrm{ACDA}} < 0$.

Questão) Considere agora os processos ABC e AC. A variação de energia interna do gás é tal que:

(d) $\Delta U_{\mathrm{ABC}} > \Delta U_{\mathrm{AC}}$.

(e) $\Delta U_{\mathrm{ABC}} = \Delta U_{\mathrm{AC}}$.

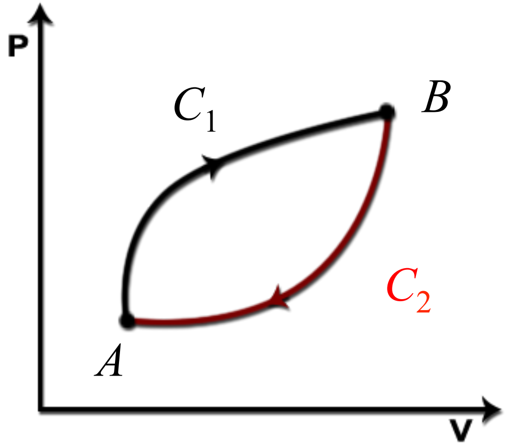
(f) $\Delta U_{\mathrm{ABC}} < \Delta U_{\mathrm{AC}}$.

Questão) Considere agora os processos ABC e CDA. A variação de energia interna do gás é tal que:

(g) $\Delta U_{\mathrm{ABC}} = \Delta U_{\mathrm{CDA}}$.

(h) $\Delta U_{\mathrm{ABC}} = -\Delta U_{\mathrm{CDA}}$.

(i) Não há informação suficiente para decidir.



Note que a variação de energia interna do gás ideal depende apenas dos estados inicial e final, por se tratar de uma função da temperatura. Tomemos, por exemplo, os caminhos C_1 e C_2:

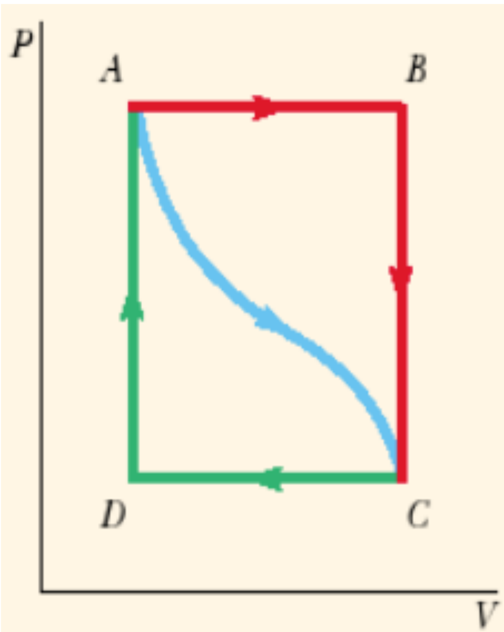
$$\Delta U_{AB} = \underset{C_1}{\int_A^B} dU = nC_V \int_{T_A}^{T_B} dT = U(T_B) - U(T_A)$$

$$\Delta U_{AB} = \underset{C_2}{\int_A^B} dU = nC_V \int_{T_A}^{T_B} dT = U(T_B) - U(T_A)$$

Perceba que nC_V é constante sobre qualquer caminho, de forma que apenas resta considerar a variação de temperatura entre os estados final e inicial, de sorte que $\Delta U_{AB} = U_B - U_A$ não depende do caminho que leva o sistema do estado A ao estado B (depende apenas desses estados). No ciclo completo (note que o resultado é geral, pois não particularizamos os estados A e B nem os caminhos C_1 e C_2):

$$\Delta U_{\text{ciclo}} = \underset{C_1}{\int_A^B} dU + \underset{C_2}{\int_B^A} dU = [U(T_B) - U(T_A)] + [U(T_A) - U(T_B)]$$

$$\Delta U_{\text{ciclo}} = 0$$



Questão) Considere os processos cíclicos ABCDA e ACDA de um gás ideal. A variação de energia interna em nos ciclos é tal que:

(a) $\Delta U_{\text{ABCDA}} = 0$ e $\Delta U_{\text{ACDA}} = 0$.
(b) $\Delta U_{\text{ABCDA}} > 0$ e $\Delta U_{\text{ACDA}} > 0$.
(c) $\Delta U_{\text{ABCDA}} < 0$ e $\Delta U_{\text{ACDA}} < 0$.

Questão) Considere agora os processos ABC e AC. A variação de energia interna do gás é tal que:

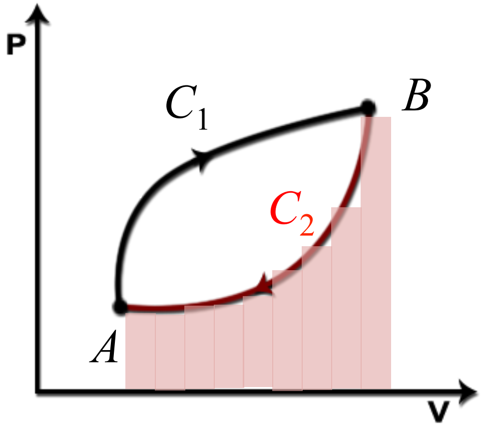
(d) $\Delta U_{\text{ABC}} > \Delta U_{\text{AC}}$.
(e) $\Delta U_{\text{ABC}} = \Delta U_{\text{AC}}$.
(f) $\Delta U_{\text{ABC}} < \Delta U_{\text{AC}}$.

Questão) Considere agora os processos ABC e CDA. A variação de energia interna do gás é tal que:

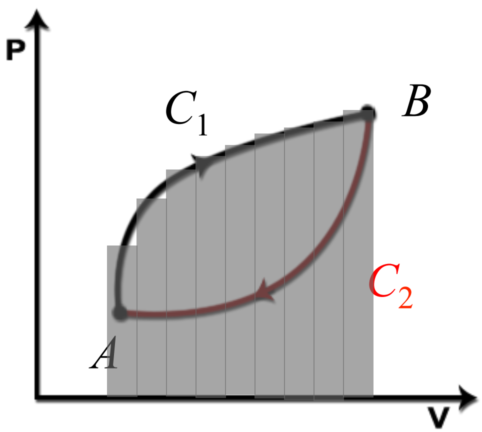
(g) $\Delta U_{\text{ABC}} = \Delta U_{\text{CDA}}$.
(h) $\Delta U_{\text{ABC}} = -\Delta U_{\text{CDA}}$.
(i) Não há informação suficiente para decidir.

Note que todas as respostas resultam de $U(T) = nC_{\text{V}}T$. Por exemplo:

$$\Delta U_{\text{ABC}} = \Delta U_{\text{AC}} = U(T_{\text{C}}) - U(T_{\text{A}})$$

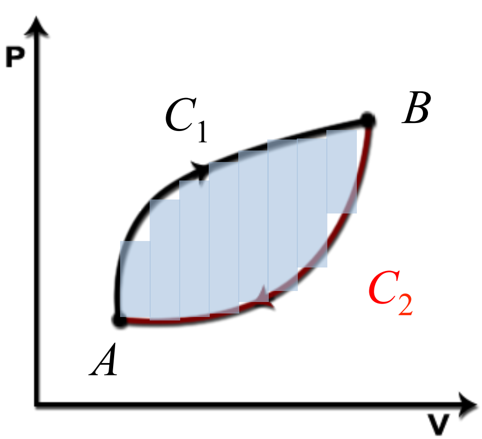


Como discutido em aulas anteriores, o cálculo do trabalho (cômputo de $dW = pdV$ sobre uma sucessão de processos infinitesimais), depende dos estados inicial e final, e também do *caminho* entre esses estados.



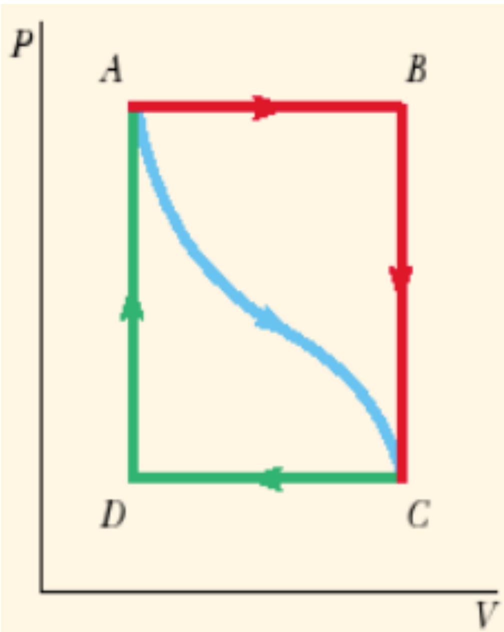
Indo de A para B pelo caminho C_2 (sentido inverso ao indicado pela seta), o trabalho será positivo (expansão) e numericamente igual à área sombreada em vermelho (por histogramas, de forma aproximada) no gráfico de cima.

Indo de A para B pelo caminho C_1, o trabalho será positivo (expansão) e numericamente igual à área sombreada em cinza no gráfico central.



Portanto: $$\int_{A \atop C_1}^{B} dW \neq \int_{A \atop C_2}^{B} dW$$

Perceba, finalmente, que o trabalho realizado no ciclo será igual, *em módulo*, à área compreendida pelo caminho fechado no diagrama pV. O trabalho muda de sinal confirme o sentido do ciclo. (Por que?)



Questão) O trabalho realizado e o calor transferido no ciclo ABCDA são tais que:

(a) $W_{\text{ABCDA}} = 0$ e $Q_{\text{ABCDA}} = 0$.

(b) $W_{\text{ABCDA}} < 0$ e $Q_{\text{ABCDA}} < 0$.

(c) $W_{\text{ABCDA}} > 0$ e $Q_{\text{ABCDA}} > 0$.

Questão) Considere agora o ciclo reverso ADCBA. Nessa caso:

(d) $W_{\text{ADCBA}} = 0$ e $Q_{\text{ADCBA}} = 0$.

(e) $W_{\text{ADCBA}} < 0$ e $Q_{\text{ADCBA}} < 0$.

(f) $W_{\text{ADCBA}} > 0$ e $Q_{\text{ADCBA}} > 0$.

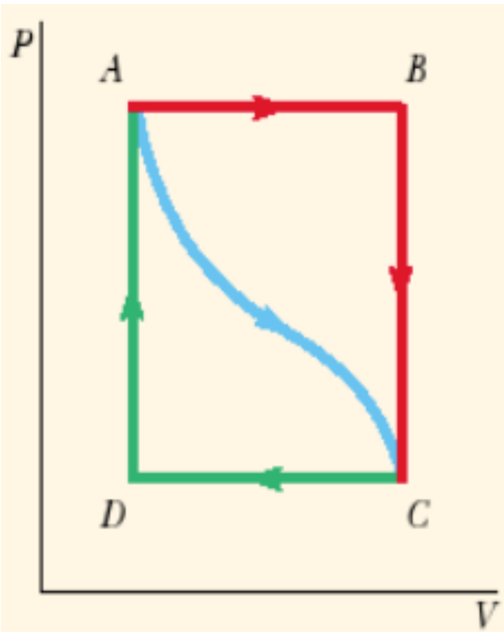
Questão) Considere agora os ciclos ABCDA e ABCA. Nesse caso:

(g) $W_{\text{ABCDA}} > W_{\text{ABCA}}$ e $Q_{\text{ABCDA}} > Q_{\text{ABCA}}$

(h) $W_{\text{ABCDA}} > W_{\text{ABCA}}$ e $Q_{\text{ABCDA}} < Q_{\text{ABCA}}$

(i) $W_{\text{ABCDA}} < W_{\text{ABCA}}$ e $Q_{\text{ABCDA}} > Q_{\text{ABCA}}$

(j) $W_{\text{ABCDA}} < W_{\text{ABCA}}$ e $Q_{\text{ABCDA}} < Q_{\text{ABCA}}$



Estime os trabalhos graficamente e explore $\Delta U_{\text{ciclo}} = 0$, de forma que $Q_{\text{ciclo}} = W_{\text{ciclo}}$.

Questão) O trabalho realizado e o calor transferido no ciclo ABCDA são tais que:

(a) $W_{\text{ABCDA}} = 0$ e $Q_{\text{ABCDA}} = 0$.

(b) $W_{\text{ABCDA}} < 0$ e $Q_{\text{ABCDA}} < 0$.

(c) $W_{\text{ABCDA}} > 0$ e $Q_{\text{ABCDA}} > 0$.

Questão) Considere agora o ciclo reverso ADCBA. Nessa caso:

(d) $W_{\text{ADCBA}} = 0$ e $Q_{\text{ADCBA}} = 0$.

(e) $W_{\text{ADCBA}} < 0$ e $Q_{\text{ADCBA}} < 0$.

(f) $W_{\text{ADCBA}} > 0$ e $Q_{\text{ADCBA}} > 0$.

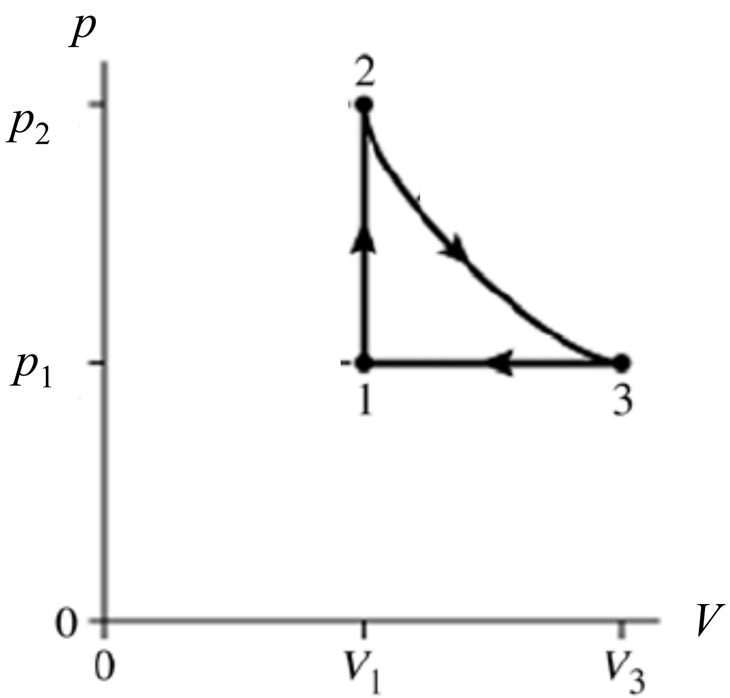
Questão) Considere agora os ciclos ABCDA e ABCA. Nesse caso:

(g) $W_{\text{ABCDA}} > W_{\text{ABCA}}$ e $Q_{\text{ABCDA}} > Q_{\text{ABCA}}$

(h) $W_{\text{ABCDA}} > W_{\text{ABCA}}$ e $Q_{\text{ABCDA}} < Q_{\text{ABCA}}$

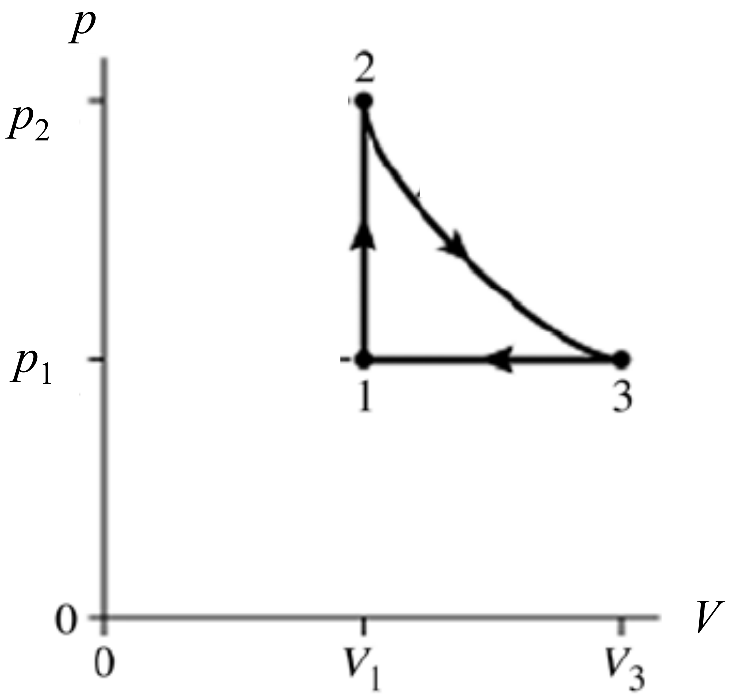
(i) $W_{\text{ABCDA}} < W_{\text{ABCA}}$ e $Q_{\text{ABCDA}} > Q_{\text{ABCA}}$

(j) $W_{\text{ABCDA}} < W_{\text{ABCA}}$ e $Q_{\text{ABCDA}} < Q_{\text{ABCA}}$



2) O diagrama ao lado representa três processos quase-estáticos consecutivos de um gás ideal, sendo o processo $2 \rightarrow 3$ isotérmico. Complete a tabela abaixo, indicando cada quantidade como maior do que zero, menor do que zero ou igual a zero em cada processo.

	ΔP	ΔV	ΔT	ΔU	W	Q
$1\rightarrow2$						
$2\rightarrow3$						
$3\rightarrow1$						

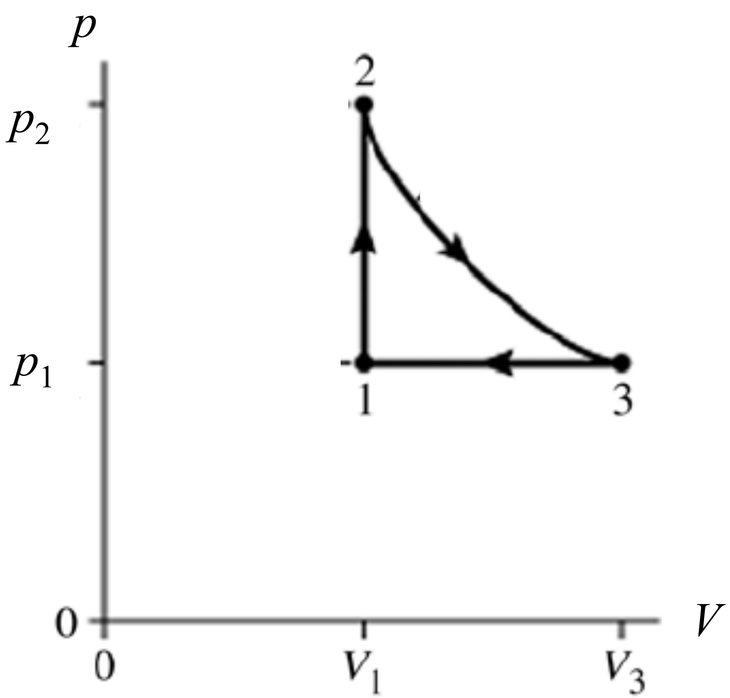


Primeira Lei.

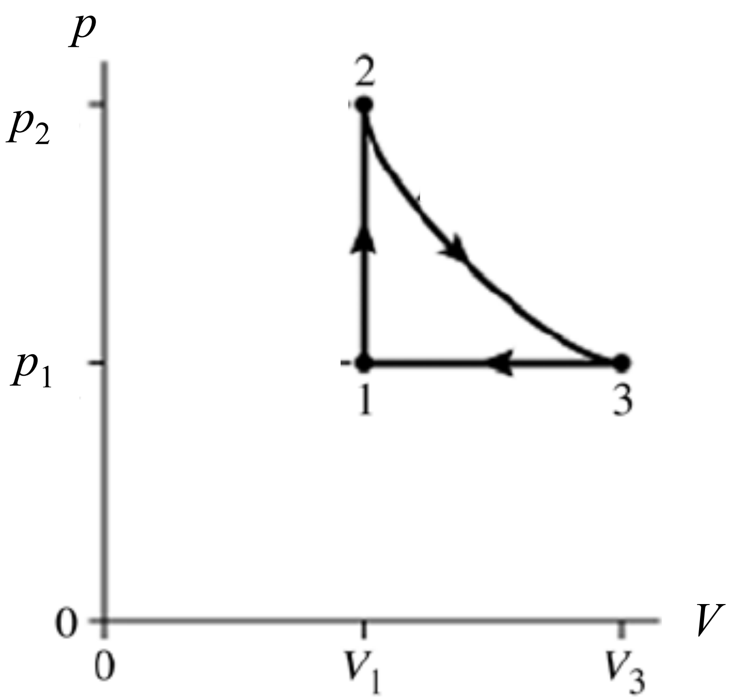
$\propto \Delta T$ | pdV (área)

	ΔP	ΔV	ΔT	ΔU	W	Q
$1\rightarrow 2$	> 0	$= 0$	> 0	> 0	$= 0$	> 0
$2\rightarrow 3$	< 0	> 0	$= 0$	$= 0$	> 0	> 0
$3\rightarrow 1$	$= 0$	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0

leitura do gráfico | $PV/T = \text{const}$



Problema) Obtenha expressões para o calor e o trabalho no ciclo 1→2→3→1 (mesma situação do problema anterior). Escreva seus resultados em função de p_1, p_2, V_1 e V_3.



$$W_{\text{ciclo}} = \underbrace{W_{12}}_{0} + W_{23} + W_{31}$$

$$W_{23} = nRT_2 \ln\left(\frac{V_3}{V_2}\right) = p_2 V_1 \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)$$

$$W_{31} = p_1(V_1 - V_3) = -p_1(V_3 - V_1)$$

$$\Delta U_{\text{ciclo}} = 0 \implies Q_{\text{ciclo}} = W_{\text{ciclo}}$$