

Energia interna, calor, trabalho e primeira lei da Termodinâmica

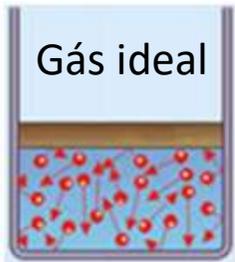
- Aula 7 / Pg. 754 / Octa 2 / Frente 3

- SL 02 – Mapa conceitual
- SL 03 – Energia interna
- SL 05 – Trabalho
- SL 11 – Primeira Lei da Termodinâmica
- SL 12 – Exercícios

Apresentação e demais documentos: fisicasp.com.br

Mapa conceitual

Como a energia interna de um gás pode variar?



Troca de

Energia interna

$$U = \sum E_c$$

$$\Delta U = Q - \tau$$

Energia Térmica

Motivo:
diferença de temperatura

Como calcular?

$$Q = n \cdot c \cdot \Delta T$$

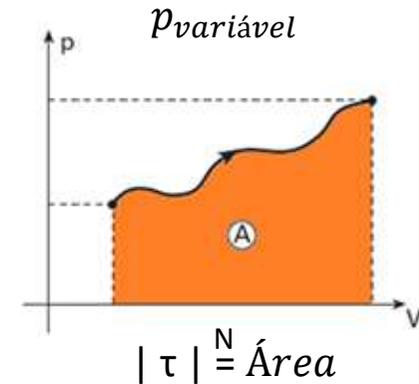
Somente para processos isobáricos ou isovolumétricos

Energia Mecânica

Motivo:
expansão ou compressão

Como calcular?

$$\tau = p_{cte} (V_{final} - V_{inicial}) \quad \text{ou}$$



Energia Interna de um gás ideal

- **Energia Interna (U):** é a soma das energias cinéticas das partículas.

$$U = E_{c(1)} + E_{c(2)} + E_{c(3)} + \dots + E_{c(n)}$$

- Características do gás ideal
 - Partículas puntiformes
 - Não há rotação ou vibração: a energia cinética se resume à energia de translação.
 - Não há força elétrica: o sistema não armazena $E_{pot\ el}$.

Gás Monoatômico:

$$U = \frac{3}{2} PV = \frac{3}{2} nRT$$

Gás Diatômico:

$$U = \frac{5}{2} PV = \frac{5}{2} nRT$$

No SI: U é medida em Joules (J)

Variação da energia interna de um gás ideal ($\Delta U = U_f - U_i$)

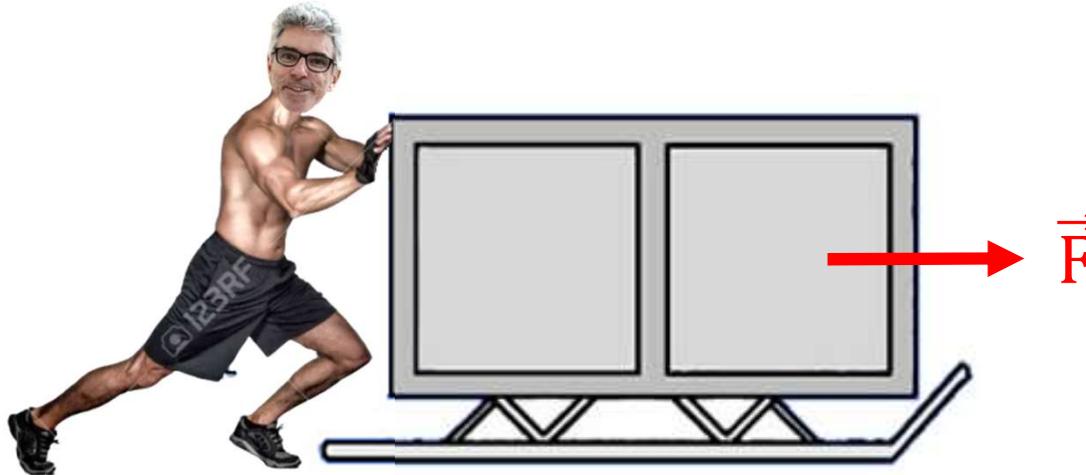
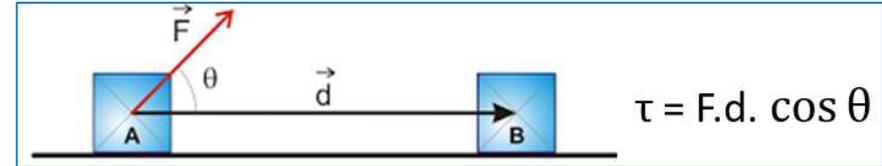
- $\Delta U > 0 \Rightarrow U_f > U_i \Rightarrow U$ aumenta $\Rightarrow T$ aumenta
- $\Delta U < 0 \Rightarrow U_f < U_i \Rightarrow U$ diminui $\Rightarrow T$ diminui
- $\Delta U = 0 \Rightarrow U_f = U_i \Rightarrow U_f = U_i \Rightarrow T_f = T_i$

A energia interna pode ser considerada o “reservatório de energia do gás”

Quantidade de calor trocada por um gás ideal (Q)

- $Q > 0$ \Rightarrow o gás recebe calor
- $Q < 0$ \Rightarrow o gás cede calor
- $Q = 0$ \Rightarrow o gás não troca calor (processo adiabático)

Revisão: trabalho realizado por uma força



Quem empurrou

Cede energia mecânica

Quem é empurrado
(e se desloca no mesmo sentido do empurrão)

Recebe energia mecânica

https://phet.colorado.edu/sims/html/gas-properties/latest/gas-properties_pt_BR.html

Trabalho da força exercida por um gás

Equações

$$\tau = F \cdot d \cdot \cos \theta$$

$$\text{SI: } J = N \cdot m$$

$$J = N \cdot m$$

$$\tau = p \cdot (V_{final} - V_{inicial})$$

$$\text{SI: } J = \frac{N}{m^2} \cdot m^3$$

$$\text{SI: } J = N \cdot m$$

Processo isobárico (pressão constante)

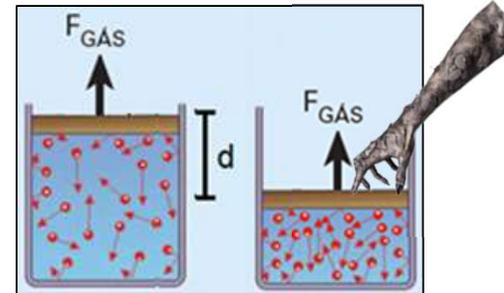
$$\tau = p_{cte} \cdot (V_{final} - V_{inicial})$$

ou

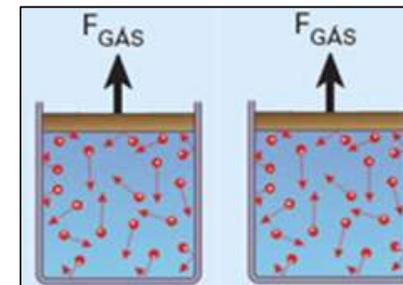
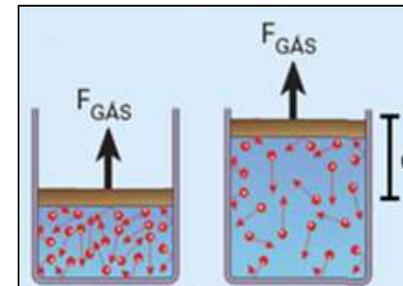
$$\tau = p_{cte} \cdot \Delta V$$

Trabalho: sinais

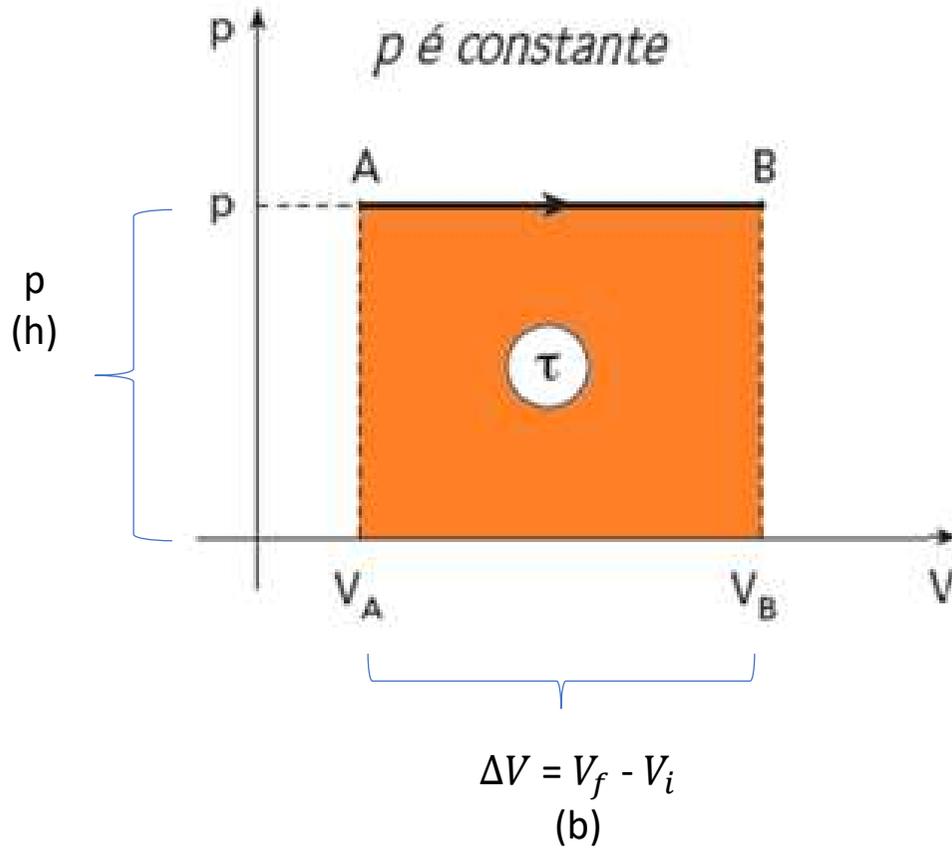
- *Compressão (V: diminui)*
 - $\tau < 0$
 - trabalho é realizado sobre o gás
 - o gás recebe energia mecânica do meio externo
- *Expansão (V: aumenta)*
 - $\tau > 0$
 - o gás realiza trabalho
 - o gás cede energia mecânica ao meio externo
- *Processo isovolumétrico (V: cte)*
 - $\tau = 0$
 - trabalho nulo
 - o gás não troca energia mecânica



Agente externo empurrando



Trabalho: propriedade gráfica



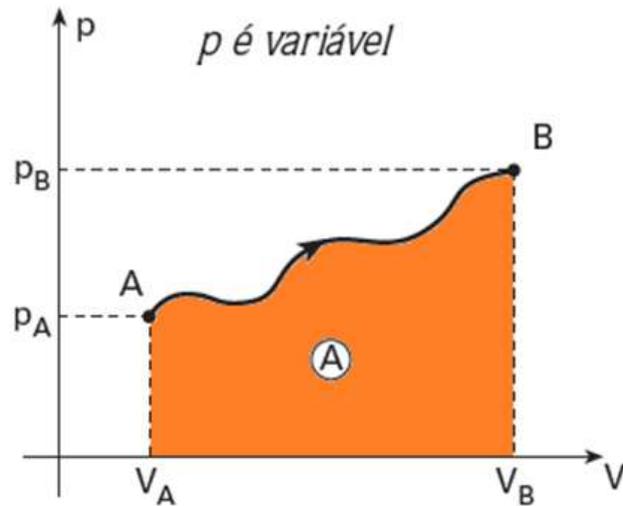
$$\tau = p_{cte} \times (V_{final} - V_{inicial})$$

$$A = h \times b$$

$$|\tau| \stackrel{N}{=} \text{Área}$$

Trabalho: propriedade gráfica

Processo qualquer

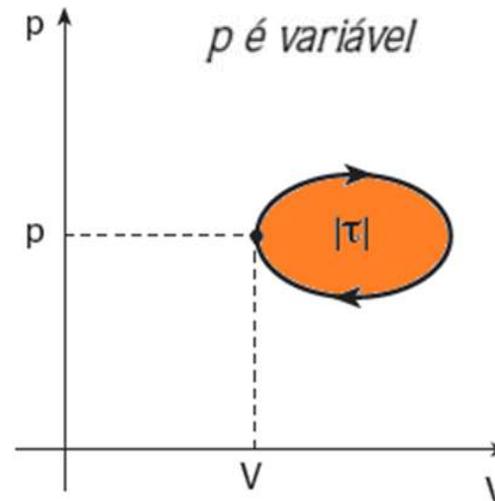


$$|\tau| \stackrel{N}{=} \text{Área}$$

V aumenta: $\tau > 0$

V diminui: $\tau < 0$

Processo cíclico



$$|\tau| \stackrel{N}{=} \text{Área}$$

Ciclo no sentido horário: $\tau > 0$

Ciclo no sentido anti-horário: $\tau < 0$

$$\tau = p_{cte} (V_{final} - V_{inicial})$$

*Expressão não é válida
para pressão variável*

Primeira lei da Termodinâmica

$$\Delta U = Q - \tau$$

Se o gás

- T aumenta: $\Delta U > 0$
- T diminui: $\Delta U < 0$
- T constante: $\Delta U = 0$
- Proc cíclico: $\Delta U_{ciclo} = 0$

Se o gás

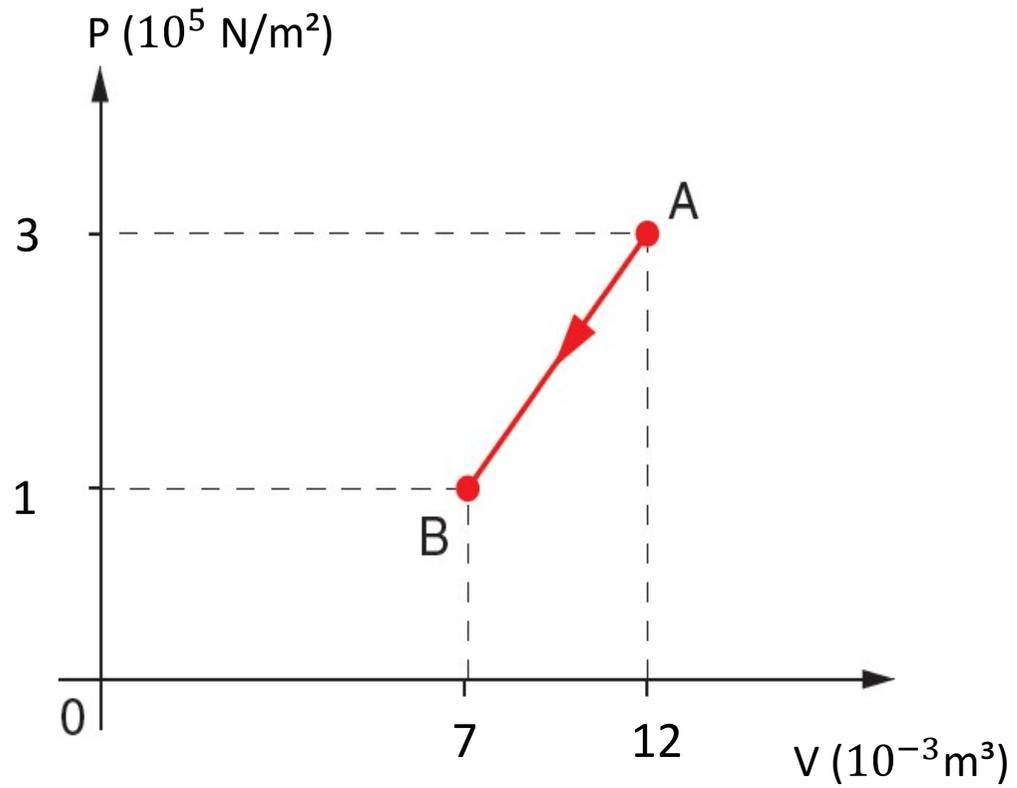
- Recebe energia térmica: $Q > 0$
- Cede energia térmica: $Q < 0$
- Proc. adiabático $Q = 0$
(não troca en. térmica)

Se o gás

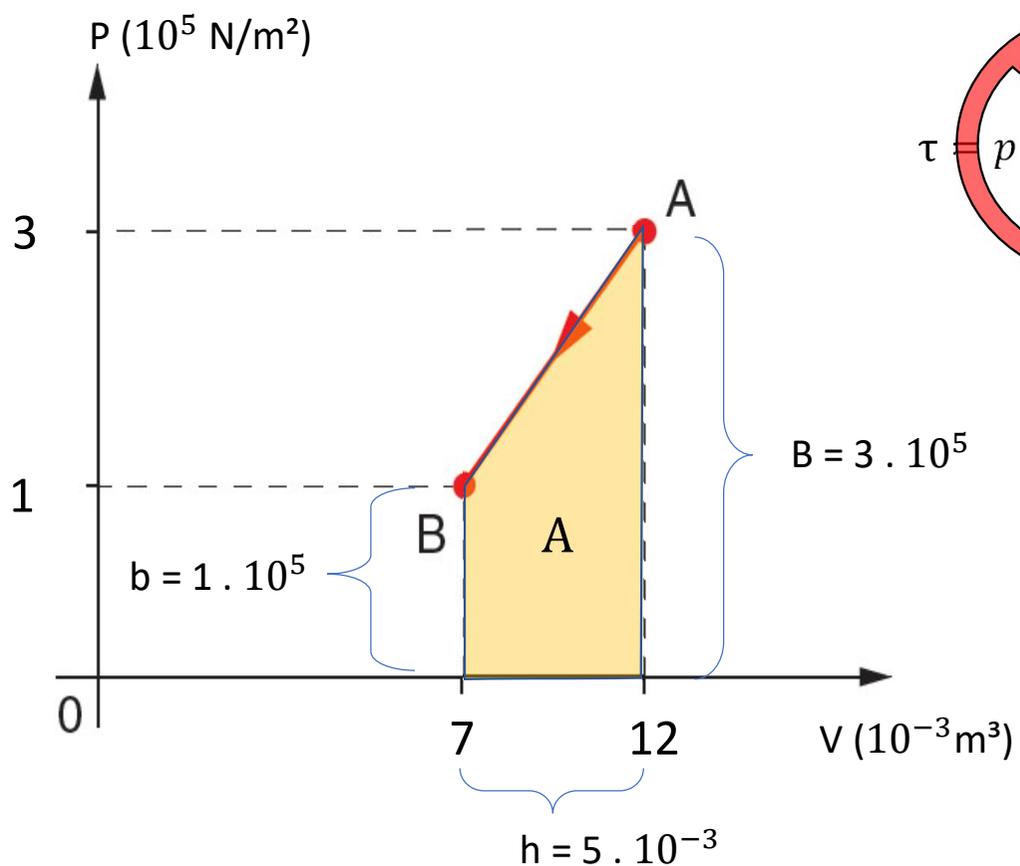
- Expande (V aumenta)
- cede energia mecânica $\tau > 0$
- Contraí (V diminui)
- recebe energia mecânica $\tau < 0$
- T. isovolumétrica (V cte)
- não troca en mecânica $\tau = 0$

Exercícios do Caio

Extra 1. Calcule o trabalho realizado sobre o gás no processo representado no gráfico.



Extra 1. Calcule o trabalho realizado sobre o gás no processo representado no gráfico.



$$\tau = p (V_{final} - V_{inicial})$$

$$|\tau| = A$$

$$A = \frac{(B + b) \cdot h}{2}$$

$$A = \frac{(3 \cdot 10^5 + 1 \cdot 10^5) \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{2}$$

$$A = \frac{(4 \cdot 10^5) \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{2}$$

$$A = 10 \cdot 10^2 = 1000$$

$$\tau = - 1000J$$

2. Calcule a variação da energia interna do gás.

a) O sistema recebe 500J de calor e sofre uma expansão na qual realiza um trabalho de 300J.

- O gás recebe calor $\rightarrow Q > 0$

- O gás expande $\rightarrow (V \text{ aumenta}) \rightarrow \tau > 0$



$$\Delta U = Q - \tau$$

$$\Delta U = (+500) - (+300)$$

$$\Delta U = + 200 \text{ J}$$



Ao final a energia interna (U) sofreu um aumento de 200 J

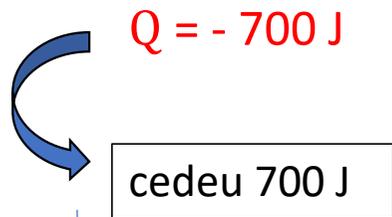


O gás fica mais quente
T aumenta

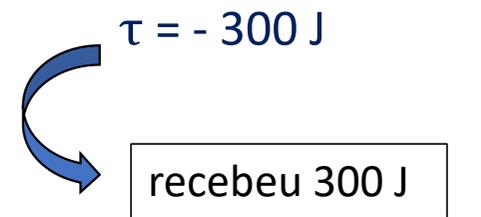
2. Calcule a variação da energia interna do gás.

b) O gás é comprimido e um trabalho de 300J é realizado sobre ele. Em virtude da diferença de temperatura em relação ao meio externo, o gás perde 700J de calor.

- O gás cede calor $\rightarrow Q < 0$



- O gás é comprimido $\rightarrow (V \text{ diminui}) \rightarrow \tau < 0$



$$\Delta U = Q - \tau$$

$$\Delta U = (- 700) - (- 300)$$

$$\Delta U = - 700 + 300$$

$$\Delta U = - 400 \text{ J}$$

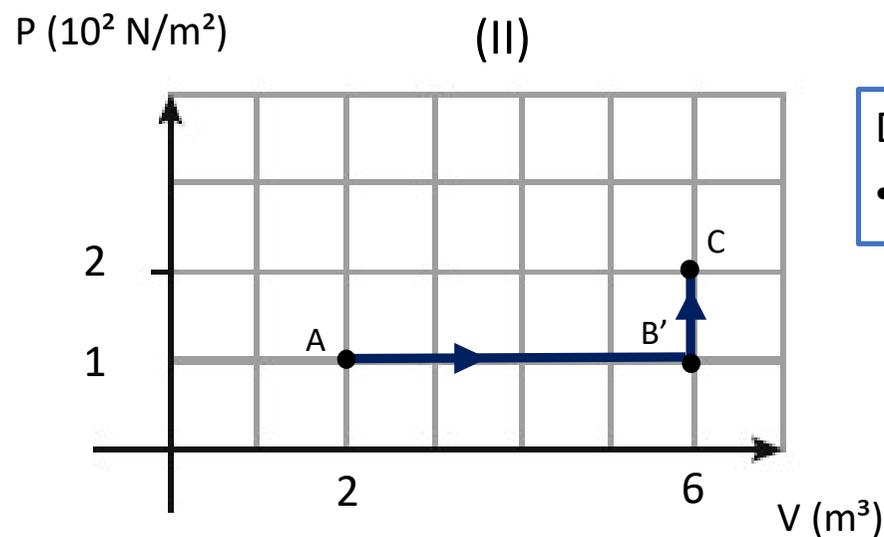
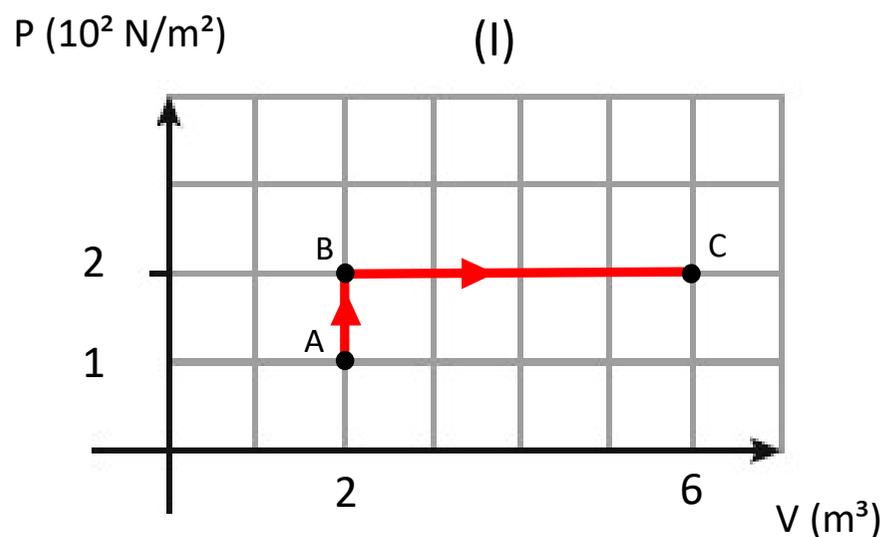


Ao final a energia interna (U) sofreu uma diminuição de 400 J



O gás fica mais frio
T diminui

3. No diagrama P x V da figura, I e II representam dois processos diferentes que levam 0,125 mol de um gás de um estado termodinâmico A até um estado termodinâmico C.



Dados:
 • $U = \frac{3}{2} PV$

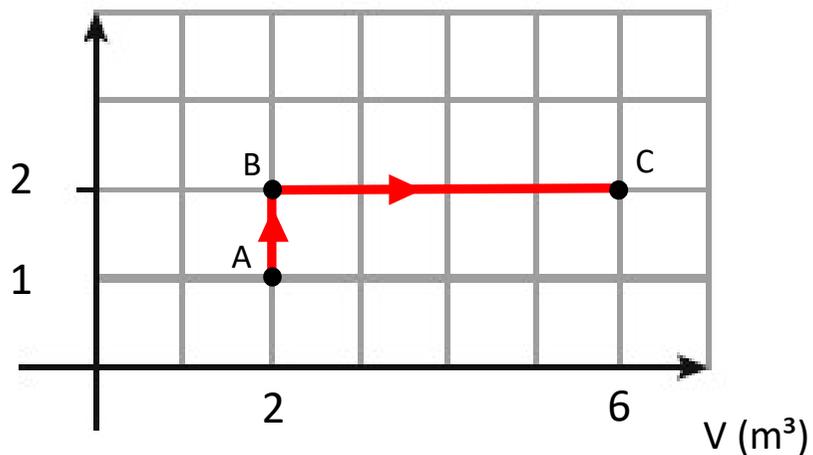
Calcule

- a) As variações da energia interna nos processos I e II.
- b) Os trabalhos realizados pelas forças exercidas pelo gás nos processos I e II.
- c) As quantidades de calor trocadas pelo gás nos processos I e II.

3. No diagrama P x V da figura, I e II representam dois processos diferentes que levam 0,125 mol de um gás de um estado termodinâmico A até um estado termodinâmico C.

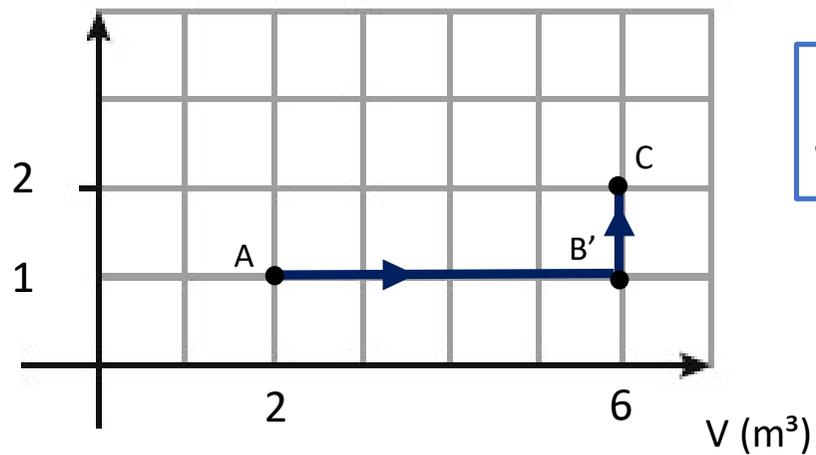
P (10² N/m²)

(I)



P (10² N/m²)

(II)



Dados:
• $U = \frac{3}{2} PV$

a) As variações da energia interna nos processos I e II.

$$U_A = \frac{3}{2} P.V = \frac{3}{2} 1 \cdot 10^2 \cdot 2 = 300 \text{ J}$$

$$U_C = \frac{3}{2} P.V = \frac{3}{2} 2 \cdot 10^2 \cdot 6 = 1800 \text{ J}$$

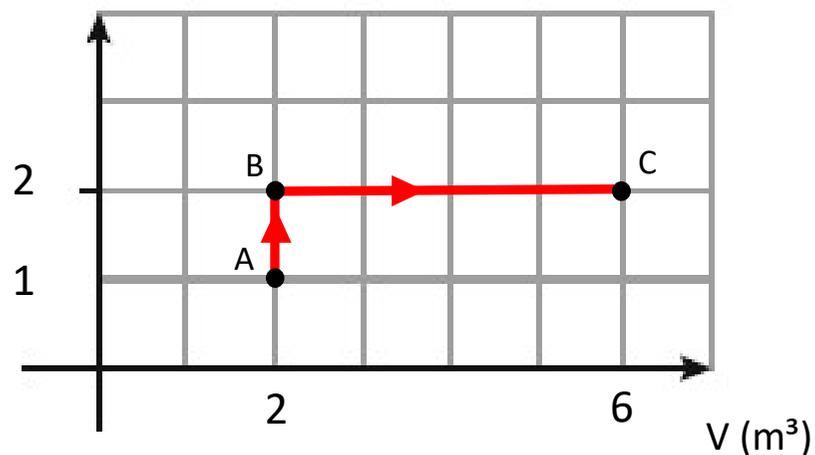
$$\Delta U_I = +1500 \text{ J}$$

$$\Delta U_{II} = +1500 \text{ J}$$

3. No diagrama P x V da figura, I e II representam dois processos diferentes que levam 0,125 mol de um gás de um estado termodinâmico A até um estado termodinâmico C.

P (10² N/m²)

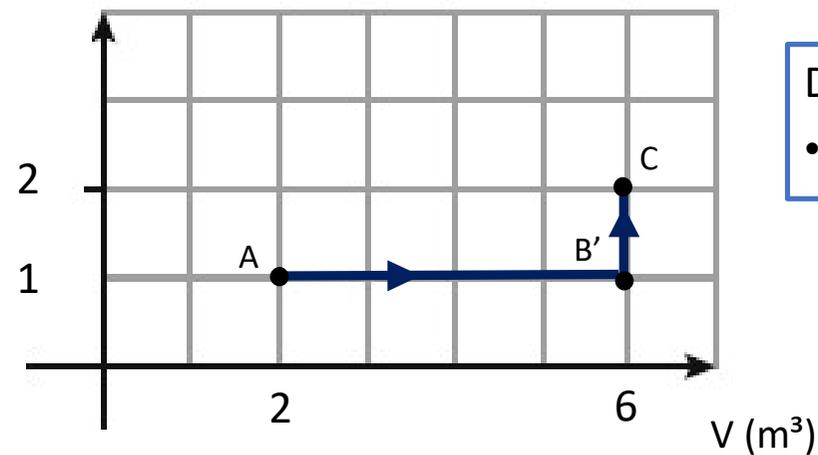
(I)



$$\Delta U_I = + 1500 \text{ J}$$

P (10² N/m²)

(II)



$$\Delta U_{II} = + 1500 \text{ J}$$

Dados:
 • $U = \frac{3}{2} PV$

b) Os trabalhos realizados pelas forças exercidas pelo gás nos processos I e II.

$$\tau_{ABC} (I) = \tau_{AB} + \tau_{BC}$$

$$\tau_{ABC} (I) = 0 + p \cdot \Delta V$$

$$\tau_{ABC} (I) = 0 + 200 \cdot 4 = + 800 \text{ J}$$

$$\tau_{AB'C} (II) = \tau_{AB'} + \tau_{B'C}$$

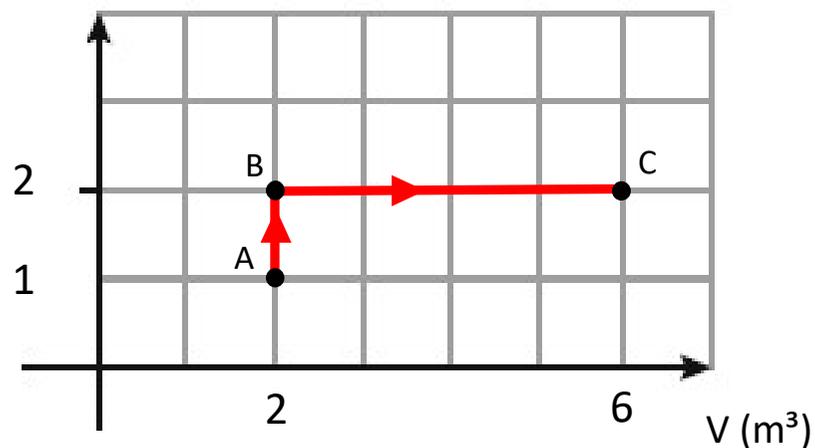
$$\tau_{AB'C} (II) = p \cdot \Delta V + 0$$

$$\tau_{AB'C} (II) = 100 \cdot 4 + 0 = + 400 \text{ J}$$

3. No diagrama P x V da figura, I e II representam dois processos diferentes que levam 0,125 mol de um gás de um estado termodinâmico A até um estado termodinâmico C.

P (10^2 N/m²)

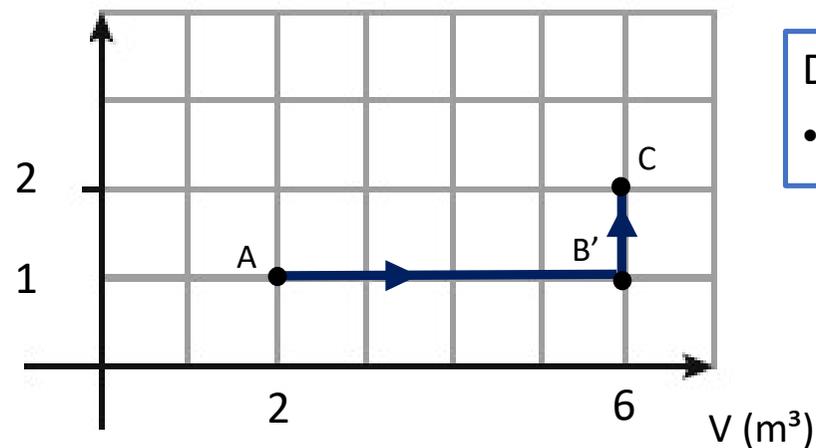
(I)



$$\Delta U_I = +1500 \text{ J} \quad \tau_{ABC} = +800 \text{ J}$$

P (10^2 N/m²)

(II)



$$\Delta U_{II} = +1500 \text{ J} \quad \tau_{AB'C} = +400 \text{ J}$$

Dados:

$$\bullet \quad U = \frac{3}{2} PV$$

c) As quantidades de calor trocadas pelo gás nos processos I e II.

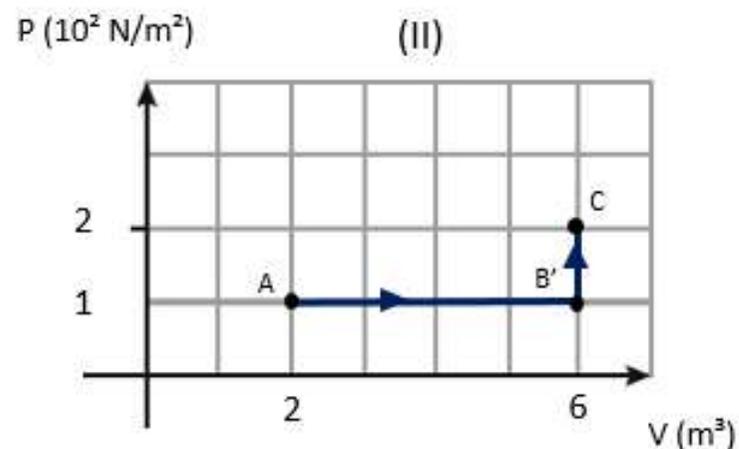
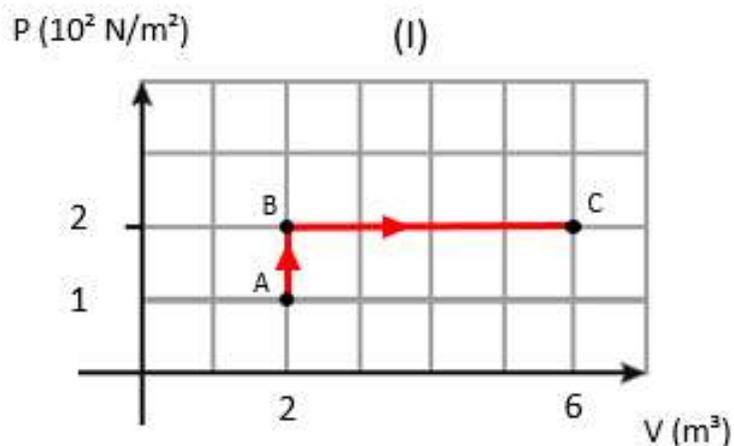
$$Q_I = \Delta U + \tau$$

$$Q_I = 1500 + 800 = +2300 \text{ J}$$

$$Q_{II} = \Delta U + \tau$$

$$Q_{II} = 1500 + 400 = +1900 \text{ J}$$

3. No diagrama P x V da figura , I e II representam dois processos diferentes que levam 0,125 mol de um gás de um estado termodinâmico A até um estado termodinâmico.



$Q_I = + 2300 \text{ J}$ → Recebeu calor

$\tau_{ABC} = + 800 \text{ J}$ → Cedeu energia mecânica

$\Delta U_I = + 1500 \text{ J}$ → A energia interna aumentou

$Q_{II} = + 1900 \text{ J}$ → Recebeu calor

$\tau_{AB'C} = + 400 \text{ J}$ → Cedeu energia mecânica

$\Delta U_{II} = + 1500 \text{ J}$ → A energia interna aumentou