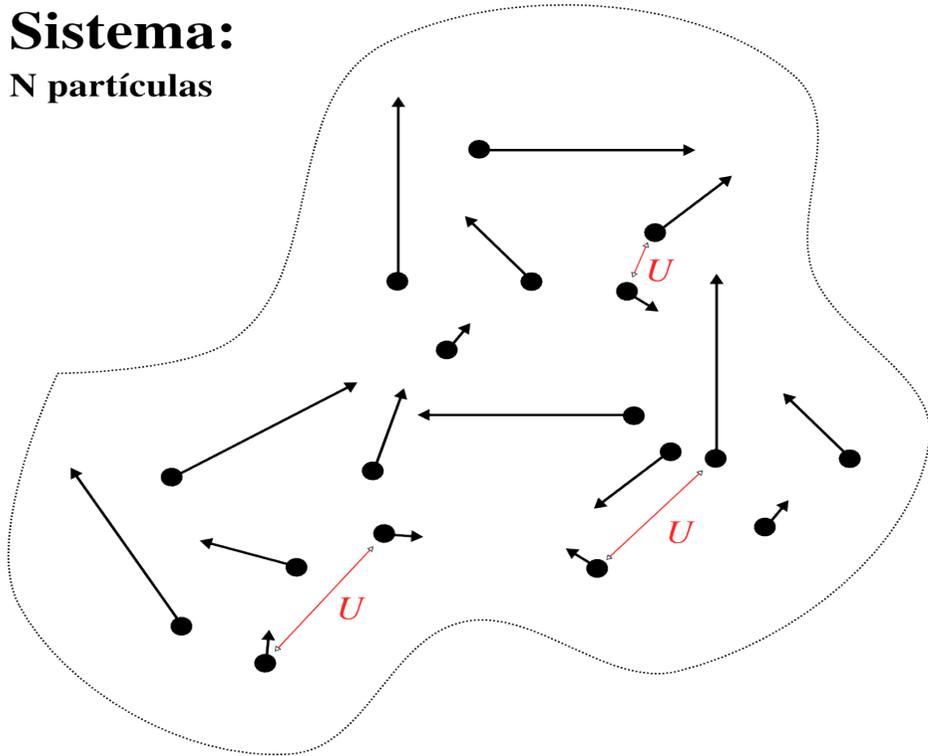


Cap 17: 1ª Lei da Termodinâmica

Recordando: conservação da energia (Fis I)

Sistema:

N partículas



Para qualquer sistema de partículas, a energia cinética total K sofre uma variação igual ao trabalho de todas as forças que agem sobre as partículas

$$\Delta K = W_{cons} + W_{diss} + W_{ext}$$

Recordando: conservação da energia (Fis I)

$$\Delta K = W_{cons} + W_{diss} + W_{ext}$$

Reescrevendo:

$$W_{cons} = -\Delta U$$

Ex: trabalho de forças eletrostáticas ou gravitacionais entre constituintes do sistema

$$W_{diss} = -\Delta E^{term}$$

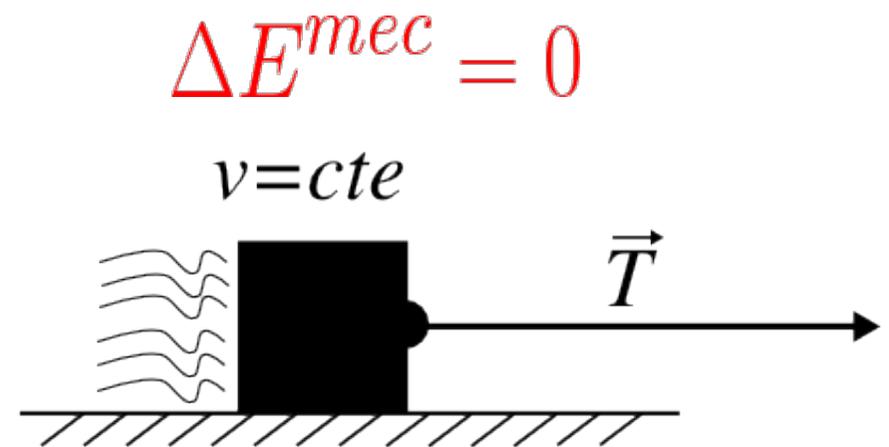
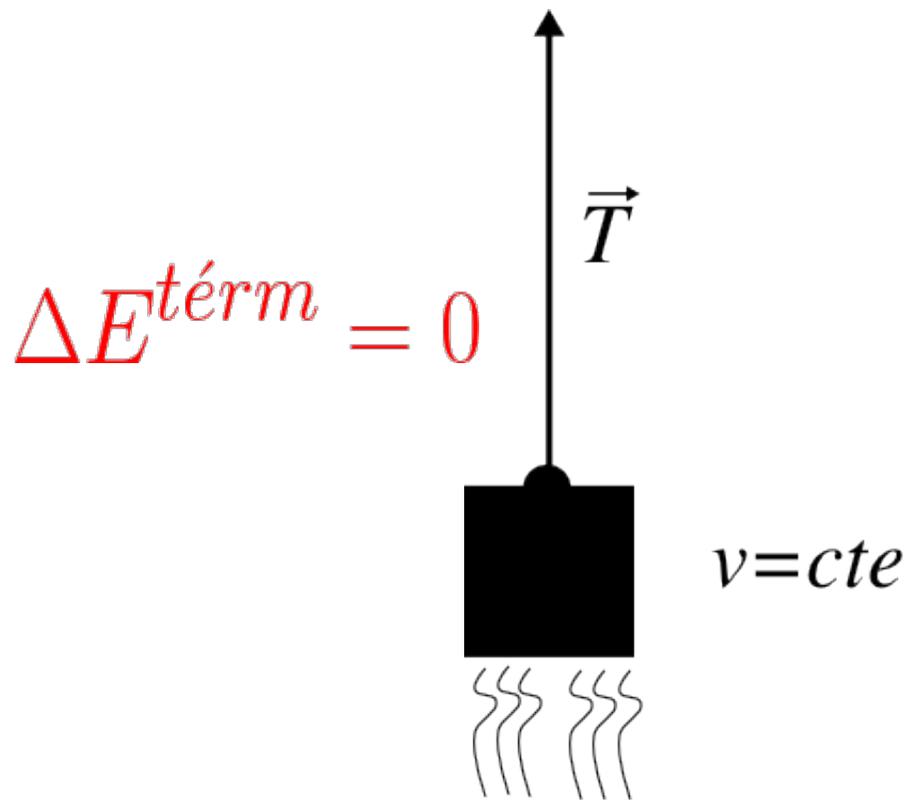
Ex: trabalho das forças de atrito dentro do sistema.
Obs: atenção p/ sinal errado no livro!

ΔE_{mec}

ΔE_{micro}

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{term} = W_{ext}$$

Obs: O mesmo trabalho externo pode ter levar a consequências bem diferentes

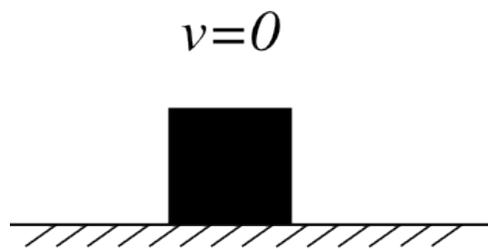


$$W_{ext} = W_T = \Delta E_{mec}$$

$$W_{ext} = W_T = \Delta E_{term}$$

Problema com a formulação de Cons. Energia em Fis I

O trabalho externo não é a única forma de provocar uma variação na energia de um sistema. Podemos também **aquecê-lo**, pondo-o em contato térmico com outro corpo a uma T maior:




Aquecimento

$$\Delta E_{mec} = W_{ext} = 0$$

$$\Delta E^{term} > 0$$

$$\cancel{\Delta K} + \cancel{\Delta U} + \Delta E_{term} = \cancel{W_{ext}} + ???$$

Conclusão: a eq. de conserv. de energia que vimos em Fís I está **incompleta**

podemos completá-la acrescentando mais um termo: **o calor**

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{term} = W_{ext} + Q$$

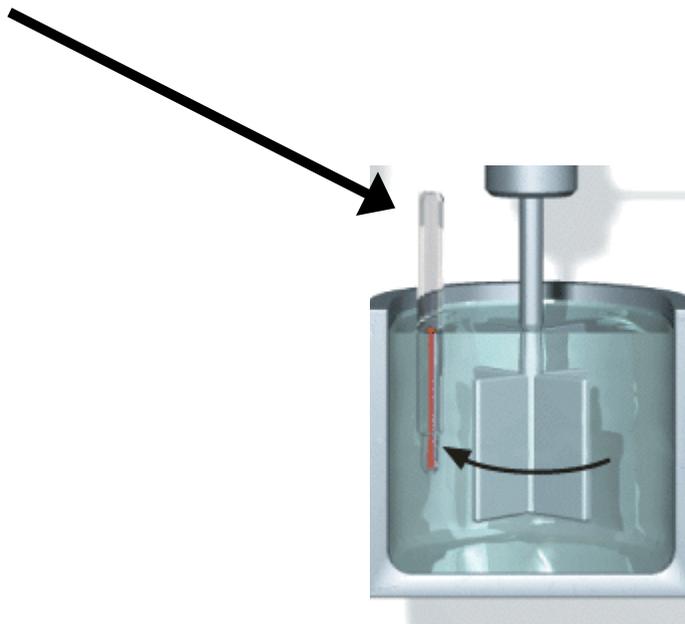
Mas... o que exatamente é calor? Como medi-lo?

Até meados do séc XIX, acreditava-se que o calor era uma substância.

Cada corpo conteria uma “reserva de calor”, que poderia ser passada de um corpo para o outro pelo atrito.... porém isto se revelou incorreto

Experiência de Joule (~1840)

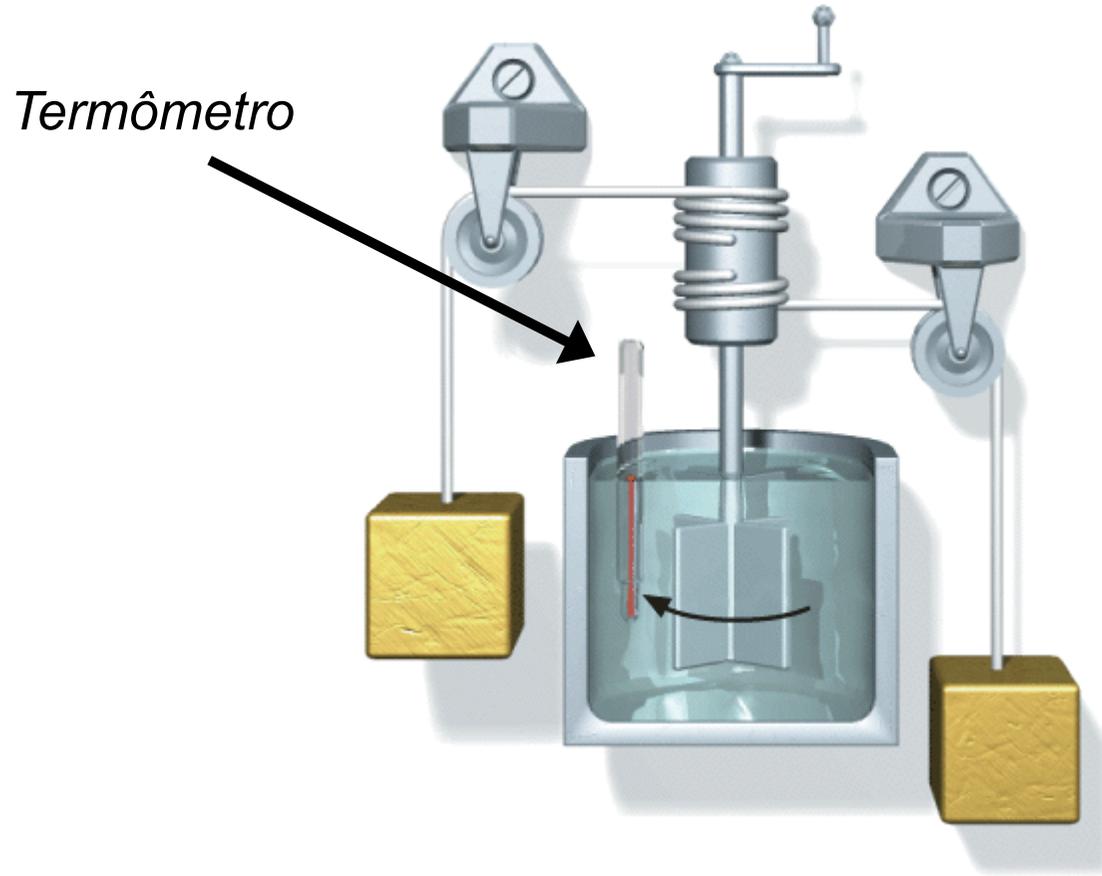
Termômetro



Sabemos que é possível aumentar a temperatura de um corpo (p. exemplo, água), colocando-a em contato com um corpo quente (T alta), ex: chama

Def: **1 caloria** é a qtde de calor capaz de aumentar a T de 1g de água em 1°C

Experiência de Joule (~1840)



- Ideia: fazer o mesmo porém de forma puramente mecânica (sem calor)
- os pesos caem, realizando uma qtd conhecida de trabalho W sobre a pá
- pá gira dentro da água até parar
- T da água aumenta!
Especificamente, são necessários **4,186 J** de trabalho p/ aumentar a T de 1g de água em 1°C

Conclusão: trabalho e calor são duas maneiras equivalentes de aumentar a energia térmica E_{term} de um sistema. Especificamente, **1 caloria de calor equivale a 4,186 J de energia**

Conclusão: a eq. de conserv. de energia que vimos em Fís I está **incompleta**

podemos completá-la acrescentando mais um termo: **o calor**

$$\Delta K + \Delta U + \Delta E_{term} = W_{ext} + Q$$

Calor: energia transferida entre um sistema e seu ambiente como consequência de uma diferença de temperaturas entre eles

Atenção!

Q e W não são Variáveis de Estado do sistema !

1ª Lei da Termodinâmica

Obs: na maioria dos casos neste curso, discutiremos situações em que o sistema como um todo está em repouso, e podemos tomar $E_{mec} = 0$.

Neste caso:

$$\Delta E^{sist} = \Delta E^{term} = W + Q$$

Eq. da 1ª Lei da Termodinâmica

Teste Conceitual 1

Quais dos seguintes processos não envolvem calor?

- (A) Você possui uma garrafa térmica que permite ler a temperatura interna, e que mantém líquidos gelados durante muito tempo. Você coloca água gelada no seu interior, depois sacode a garrafa vigorosamente durante alguns minutos. Ao final, você percebe que a temperatura da água aumentou um pouco.
- (B) Você coloca um cilindro metálico com gás dentro de água quente. O gás se expande empurrando o pistão para cima de forma a levantar um peso. A temperatura do gás não sofre variação.
- (C) um bloco de aço é mantido sobre a chama de uma vela.
- (D) Duas das alternativas acima não envolvem calor.

Teste Conceitual 1

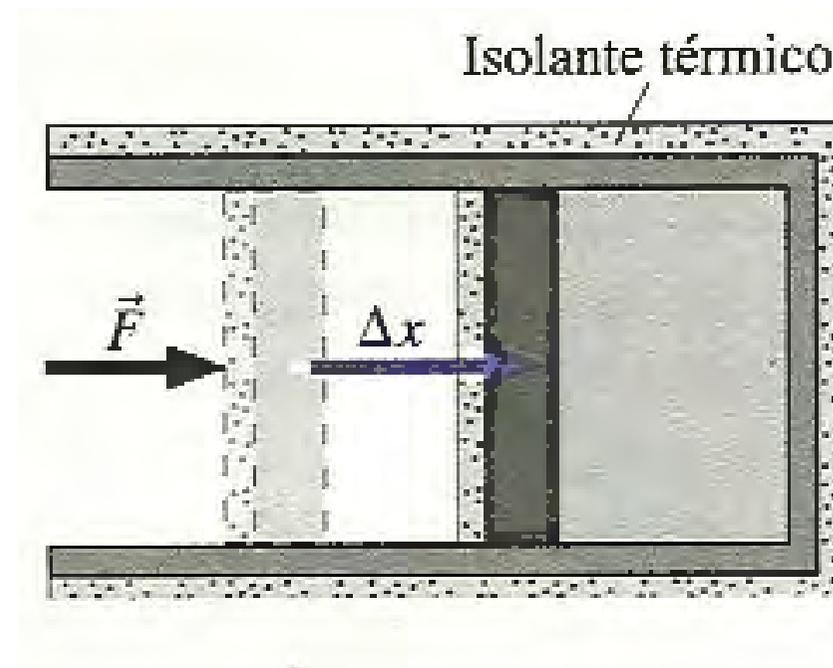
Quais dos seguintes processos não envolvem calor?

- (A) Você possui uma garrafa térmica que permite ler a temperatura interna, e que mantém líquidos gelados durante muito tempo. Você coloca água gelada no seu interior, depois sacode a garrafa vigorosamente durante alguns minutos. Ao final, você percebe que a temperatura da água aumentou um pouco.
- (B) Você coloca um cilindro metálico com gás dentro de água quente. O gás se expande empurrando o pistão para cima de forma a levantar um peso. A temperatura do gás não sofre variação.
- (C) um bloco de aço é mantido sobre a chama de uma vela.
- (D) Duas das alternativas acima não envolvem calor.

Teste Conceitual 2

Um cilindro cheio de gás e um pistão são revestidos por um forte isolamento térmico (não permite a passagem de calor). O pistão é empurrado para dentro do cilindro, comprimindo o gás. Neste processo, a temperatura do gás

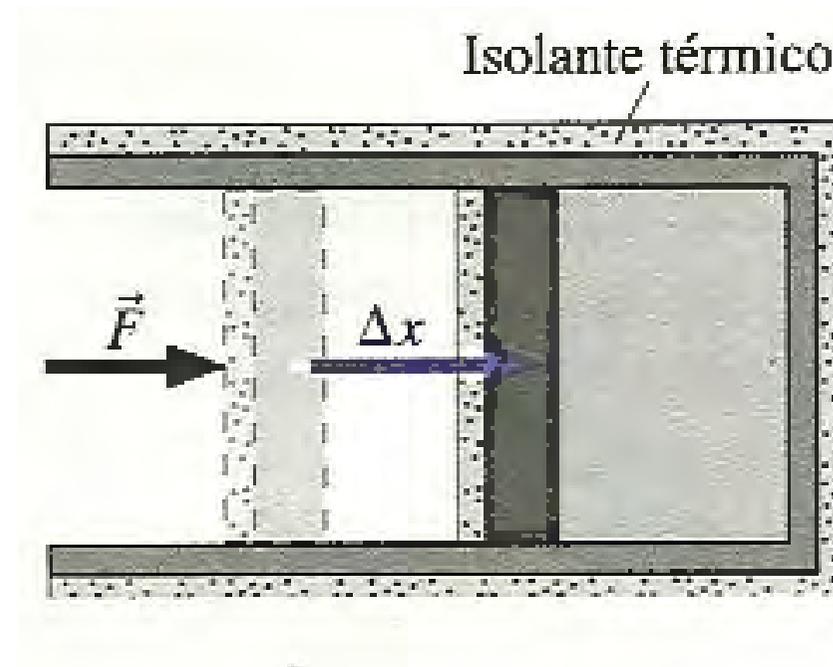
- A) Aumenta
- B) Diminui
- C) Não se altera
- D) Não há informações suficientes para saber



Teste Conceitual 2

Um cilindro cheio de gás e um pistão são revestidos por um forte isolamento térmico (não permite a passagem de calor). O pistão é empurrado para dentro do cilindro, comprimindo o gás. Neste processo, a temperatura do gás

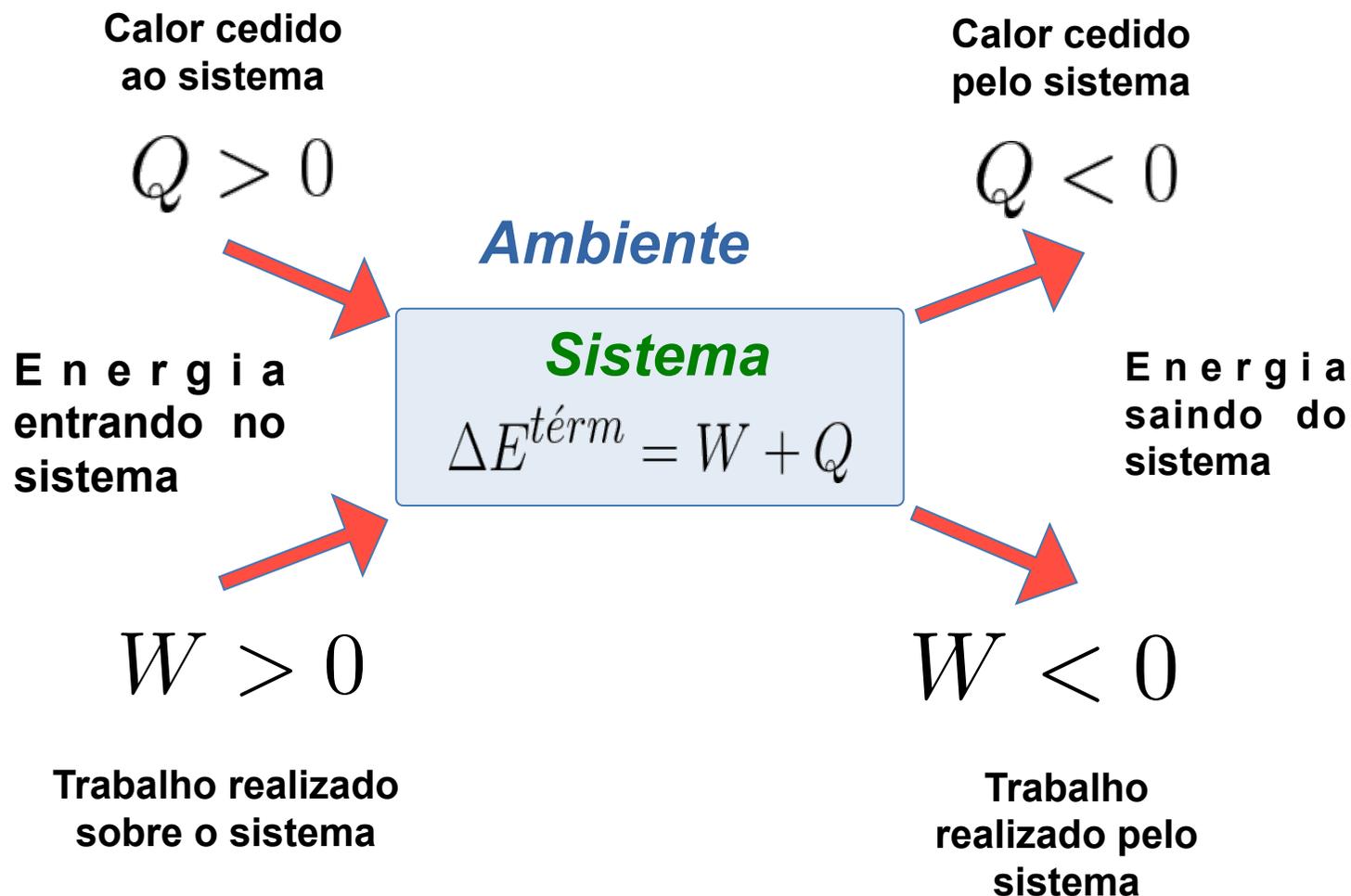
- A) Aumenta
- B) Diminui
- C) Não se altera
- D) Não há informações suficientes para saber



Importante: Convenção de sinal

Q ou $W > 0 \rightarrow$ Energia é transferida do ambiente p/ o sistema.

Q ou $W < 0 \rightarrow$ Energia é transferida do sistema p/ o ambiente.



Teste Conceitual 3

Considere a seguinte situação, e pense se W , Q , ΔE_{mec} , $\Delta E_{\text{tér}}m$ e ΔT são cada um: A) positivo, B) negativo, C) zero ou D) não é possível determinar

Caso 1: Um bloco de aço repousa sobre uma chama durante alguns segundos

$$W = 0$$

$$Q > 0$$

$$\Delta E_{\text{mec}} = 0$$

$$\Delta E_{\text{tér}}m \text{ e } \Delta T > 0$$

Teste Conceitual 3

Considere a seguinte situação, e pense se W , Q , ΔE_{mec} , ΔE_{term} e ΔT são cada um: A) positivo, B) negativo, C) zero ou D) não é possível determinar

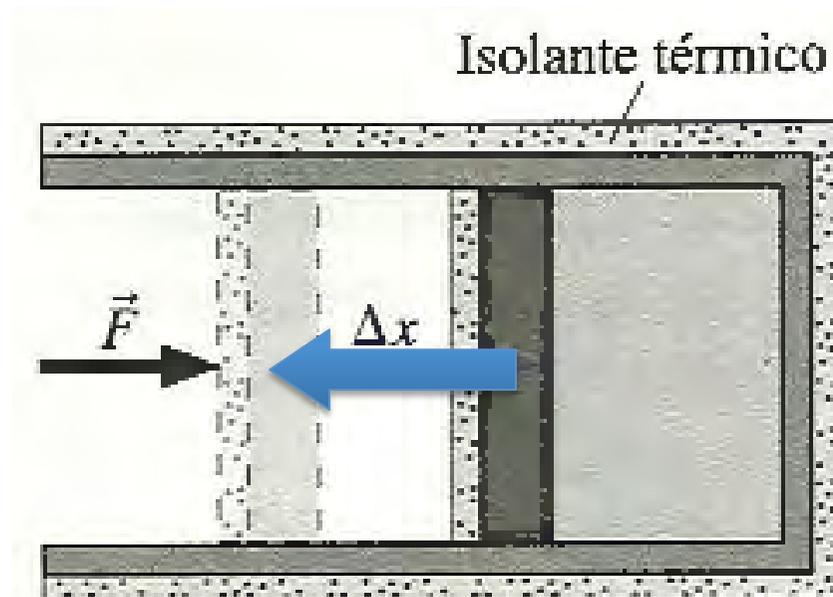
Caso 2: Um cilindro cheio de gás e um pistão são revestidos por um forte isolamento térmico. O pistão vai sendo relaxado pouco a pouco, deixando o gás se expandir.

$$W < 0$$

$$Q = 0$$

$$\Delta E_{\text{mec}} = 0$$

$$\Delta E_{\text{term}} \text{ e } \Delta T < 0$$



Teste Conceitual 3

Considere a seguinte situação, e pense se W , Q , ΔE_{mec} , $\Delta E_{\text{tér}}m$ e ΔT são cada um: A) positivo, B) negativo, C) zero ou D) não é possível determinar

Caso 3: Um bloco de aço em movimento sobre uma superfície áspera é freado até parar.

$$W < 0$$

$$Q > 0 \text{ (obs: processo secundário. Só ocorre após a sup ser aquecida a uma } T \text{ maior que a do bloco)}$$

$$\Delta E_{\text{mec}} < 0$$

$$\Delta E_{\text{tér}}m \text{ e } \Delta T > 0$$

Teste Conceitual 3

Considere a seguinte situação, e pense se W , Q , ΔE_{mec} , $\Delta E_{\text{tér}}m$ e ΔT são cada um: A) positivo, B) negativo, C) zero ou D) não é possível determinar

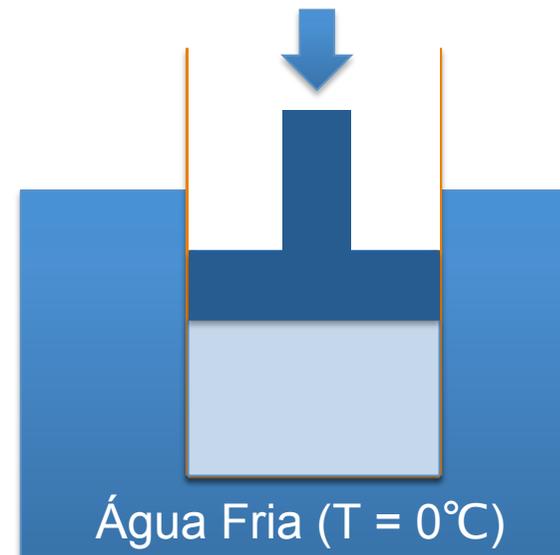
Caso 4: Um cilindro de gás feito de cobre é colocado em bom contato térmico com um grande tanque de água misturada com gelo, e deixado lá até o gás entrar em equilíbrio térmico a zero graus Celsius.. Então um pistão é comprimido lentamente sobre o gás, mas de modo que a temperatura deste se mantém sempre constante durante todo o processo.

$$\Delta E_{\text{tér}}m \text{ e } \Delta T = 0$$

$$\Delta E_{\text{mec}} = 0$$

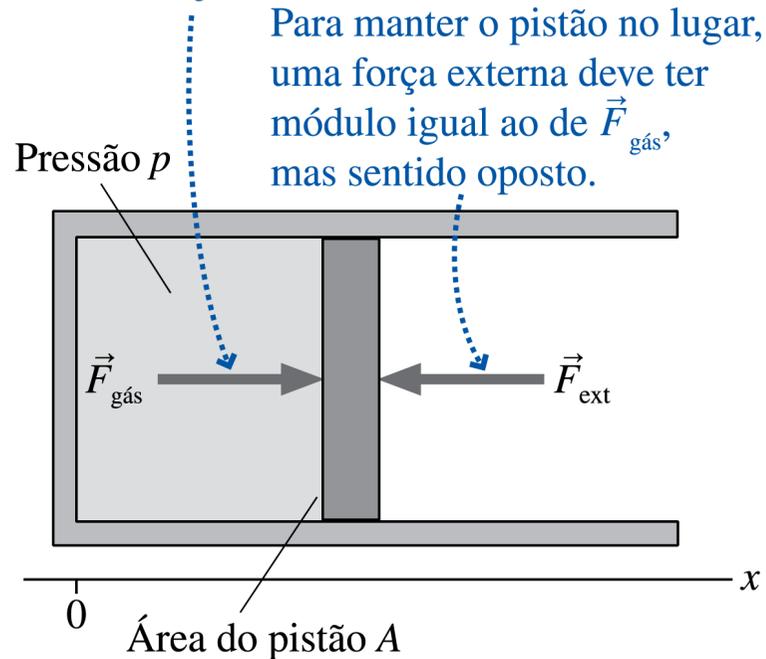
$$W > 0$$

$$Q < 0$$



Trabalho em processos quase-estáticos num gás ideal

(a) O gás empurra o pistão com a força $\vec{F}_{\text{gás}}$.



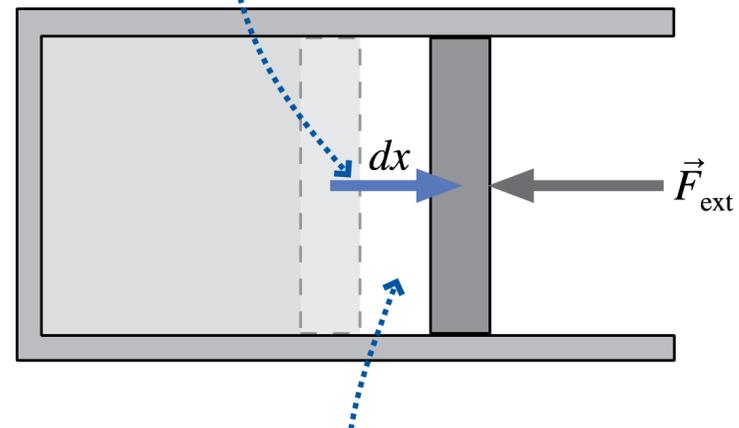
$$\rightarrow F_{\text{ext}} = P A$$

Trabalho das forças externas durante uma expansão (obs: válido tb p/ compressão):

$$W = - \int_i^f P(V) dV$$

(b)

À medida que o pistão efetua o deslocamento dx , a força externa realiza um trabalho $(F_{\text{ext}})_x dx$ sobre o gás.



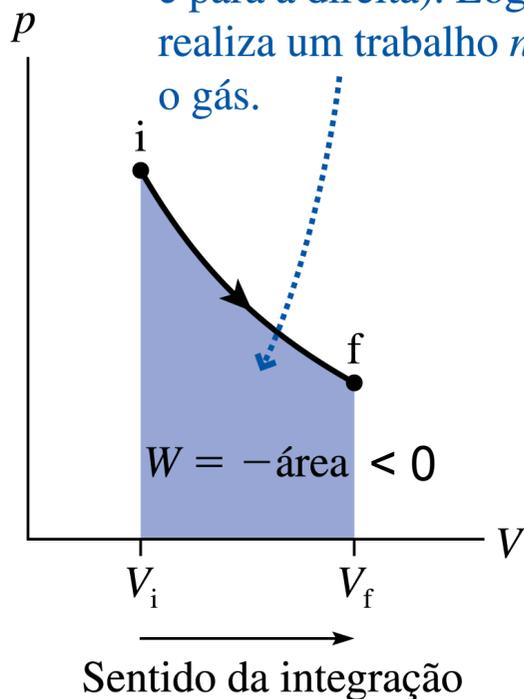
O volume varia em $dV = A dx$ durante o deslocamento dx do pistão.

$$\text{Expansão: } dW_{\text{ext}} = - F_{\text{ext}} dx = - P A dx$$

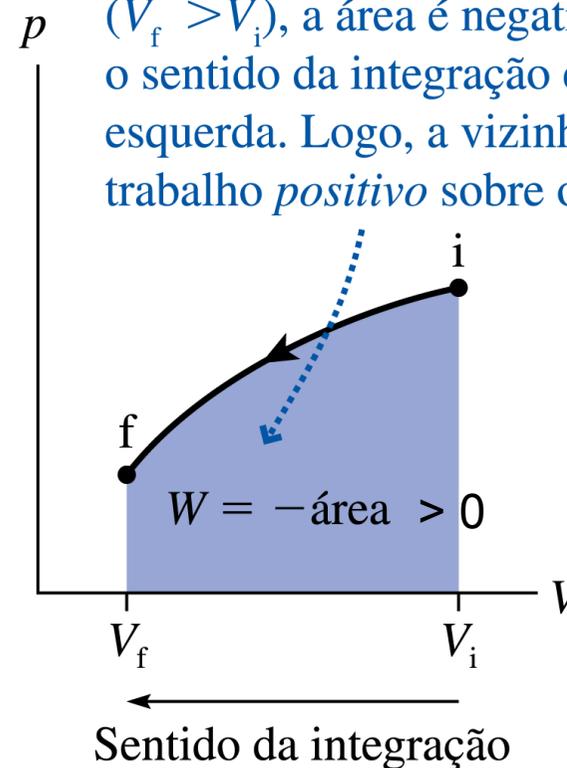
$$= - P dV$$

Trabalho em processos quase-estáticos num gás ideal

(a) Para um gás que sofre *expansão* ($V_f > V_i$), a área sob a curva pV é positiva (o sentido da integração é para a direita). Logo, a vizinhança realiza um trabalho *negativo* sobre o gás.



(b) Para um gás que sofre *compressão* ($V_f < V_i$), a área é negativa porque o sentido da integração é para a esquerda. Logo, a vizinhança realiza trabalho *positivo* sobre o gás.



Trabalho das forças externas durante uma expansão (obs: válido tb p/ compressão):

$$W = - \int_i^f P(V) dV$$

Teste Conceitual 3

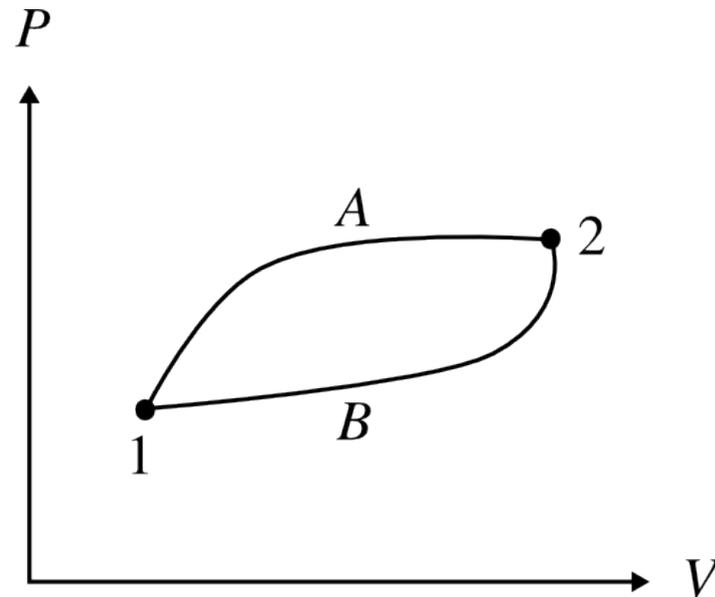
Dois processos A e B podem levar o gás do estado 1 para o estado 2.
Compare os trabalhos nos dois processos

(A) $W_A > W_B > 0$

(B) $W_B > W_A > 0$

(C) $0 > W_A > W_B$

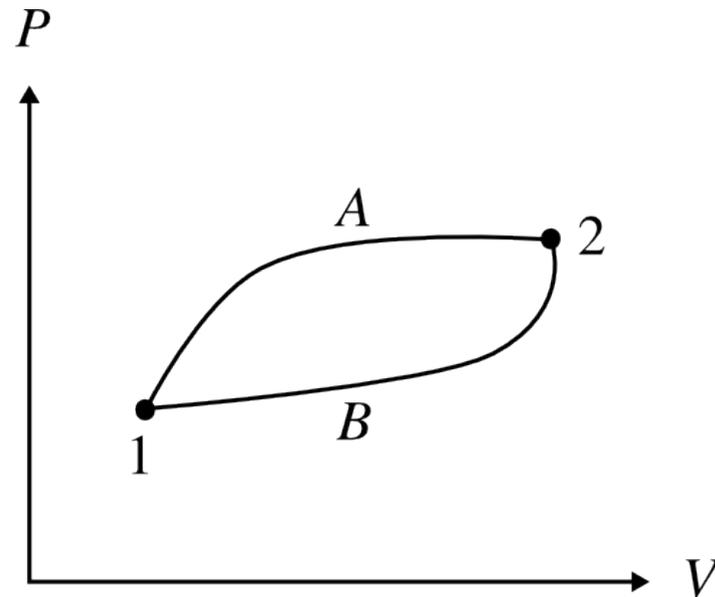
(D) $0 > W_B > W_A$



Teste Conceitual 3

Dois processos A e B podem levar o gás do estado 1 para o estado 2.
Compare os trabalhos nos dois processos

- (A) $W_A > W_B > 0$
- (B) $W_B > W_A > 0$
- (C) $0 > W_A > W_B$
- (D) $0 > W_B > W_A$

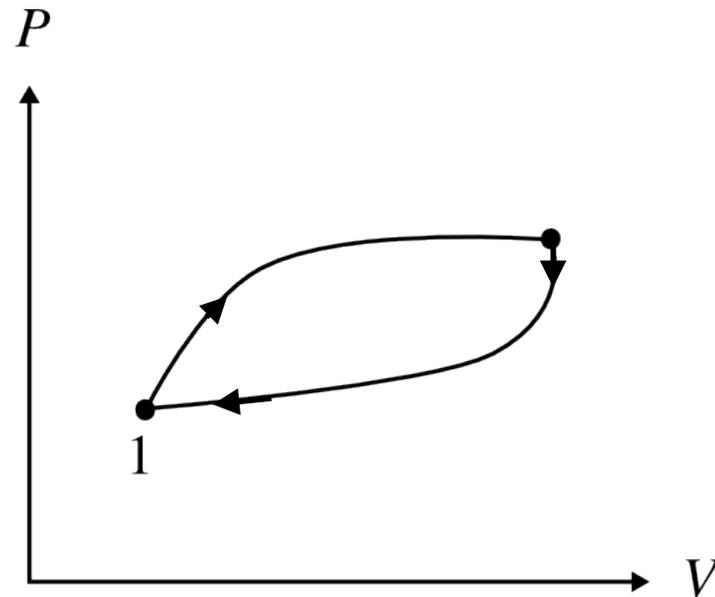


Teste Conceitual 4

Um processo começa com o gás no estado 1 e percorre a trajetória indicada na figura, terminando de volta no mesmo estado inicial (um **ciclo**).

Considerando o ciclo inteiro, podemos dizer que o trabalho externo sobre o gás foi

- (A) $W > 0$
- (B) $W = 0$
- (C) $W < 0$



Teste Conceitual 4

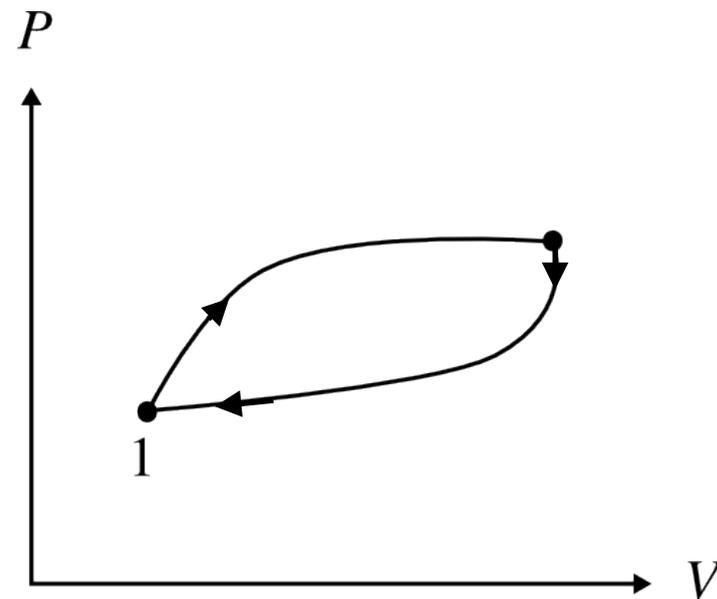
Um processo começa com o gás no estado 1 e percorre a trajetória indicada na figura, terminando de volta no mesmo estado inicial (um **ciclo**).

Considerando o ciclo inteiro, podemos dizer que o trabalho externo sobre o gás foi

(A) $W > 0$

(B) $W = 0$

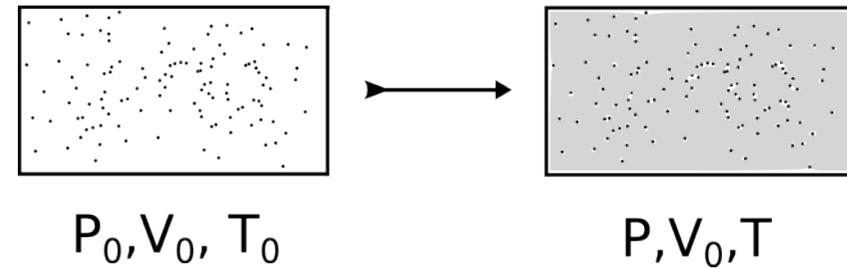
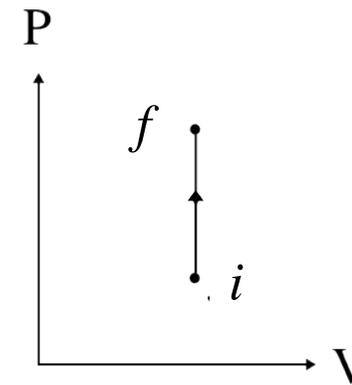
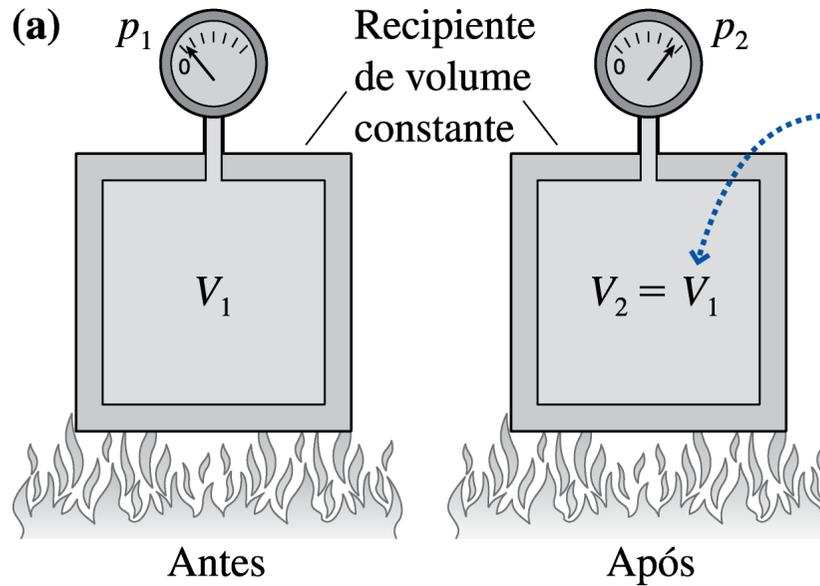
(C) $W < 0$



obs: se o ciclo fosse percorrido no sentido oposto (anti-horário), teríamos $W > 0$!

Processo Isocórico ou Isovolumétrico

$$V = \text{constante}$$



$$W_{\text{isocórico}} = 0$$

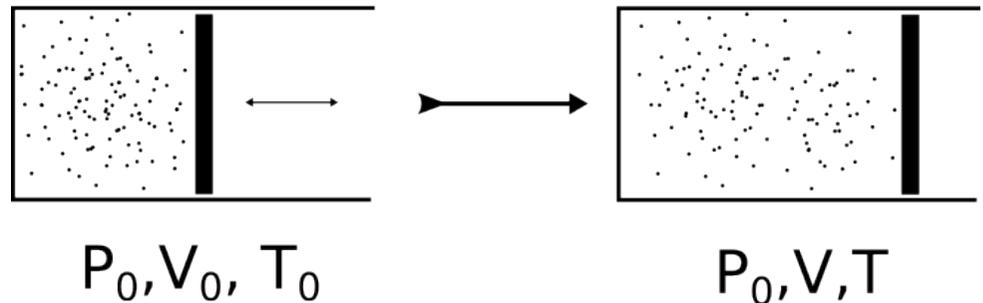
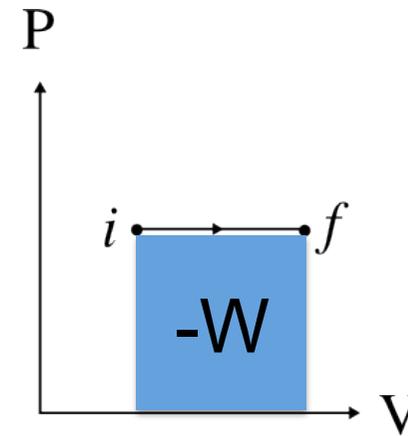
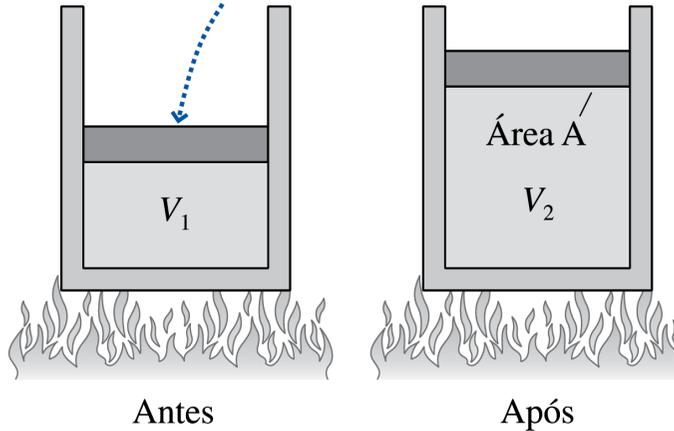
P: qdo $P_f - P_i > 0$, qual o sinal de Q ?

- A) $Q > 0$ C) $Q = 0$
B) $Q < 0$ D) depende

R: nesse caso
 $\Delta E_{\text{term}} > 0 \rightarrow Q > 0$

Processo Isobárico $P = \text{constante}$

(a) A massa do pistão mantém uma pressão constante no cilindro.



$$W_{\text{isobárico}} = -P(V_f - V_i)$$

P: qdo $V_f - V_i > 0$, qual o sinal de Q ?

- A) $Q > 0$ C) $Q = 0$
 B) $Q < 0$ D) depende

Resp: $PV = nRT$: como P cte, então

$$\Delta V > 0 \leftrightarrow \Delta T > 0 \leftrightarrow 0 < \Delta E_{\text{term}} = W + Q$$

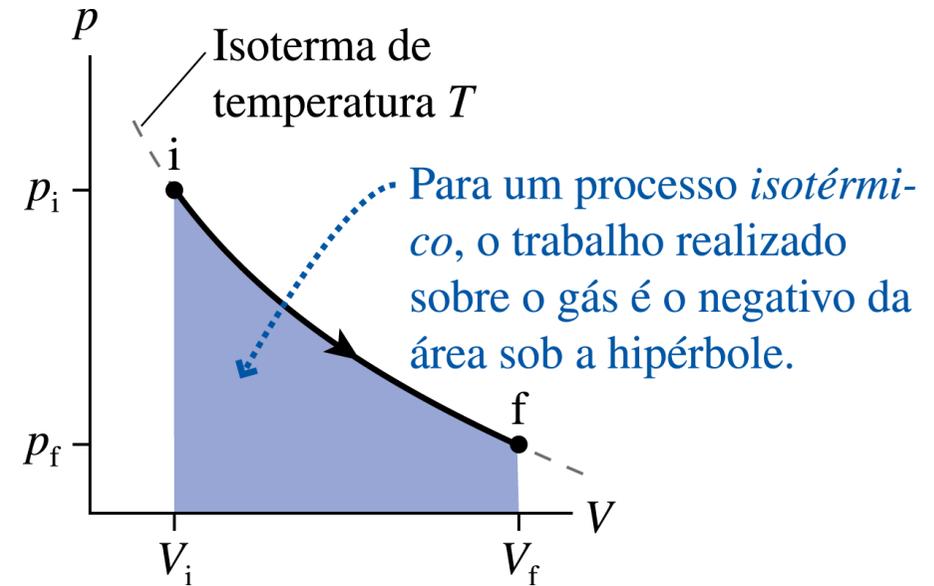
mas $W < 0$! Portanto $Q > 0$

Processo Isotérmico

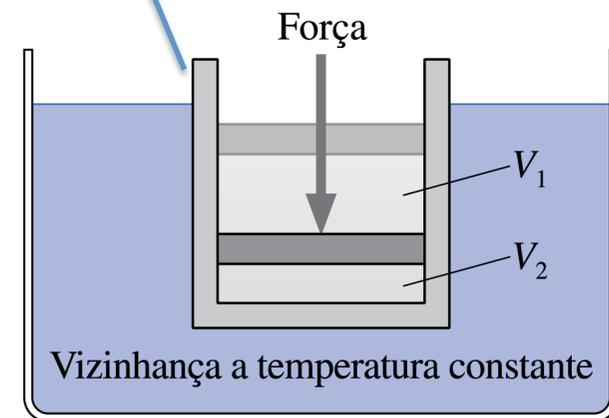
$$T = T_0 = \text{constante} \rightarrow P(V) = \frac{\text{const}}{V}$$

$$W = -nRT \int_i^f \frac{dV}{V}$$

$$= -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$$



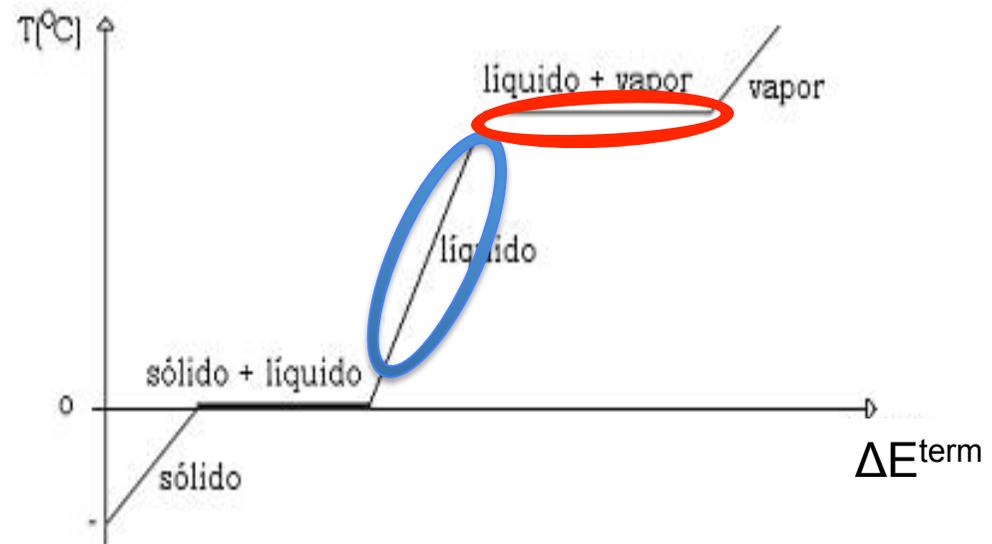
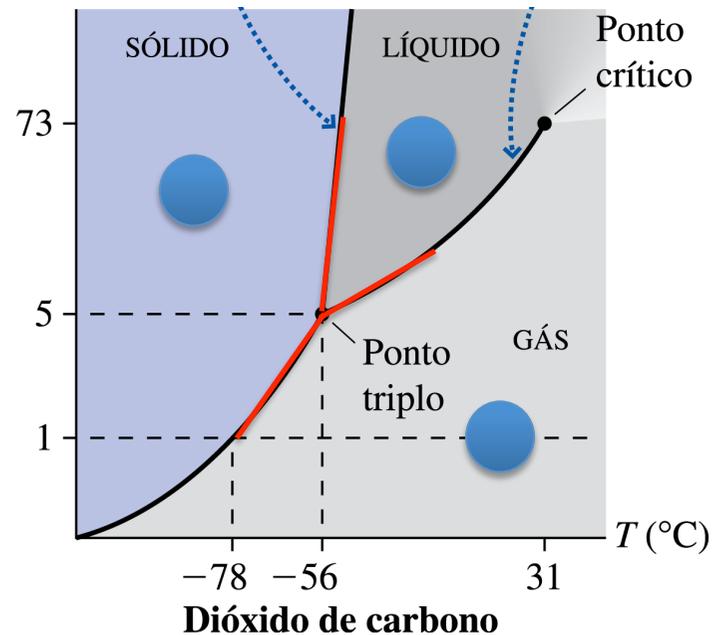
parede boa condutora térmica



Propriedades Térmicas da Matéria

P: Quais são os efeitos de uma variação da $E^{\text{térm}}$?

$\Delta E^{\text{térm}}$ *em condições normais* $\rightarrow \Delta T$
nas linhas separatrizes do diagrama de fases \rightarrow *Mudança de fase a T const.*



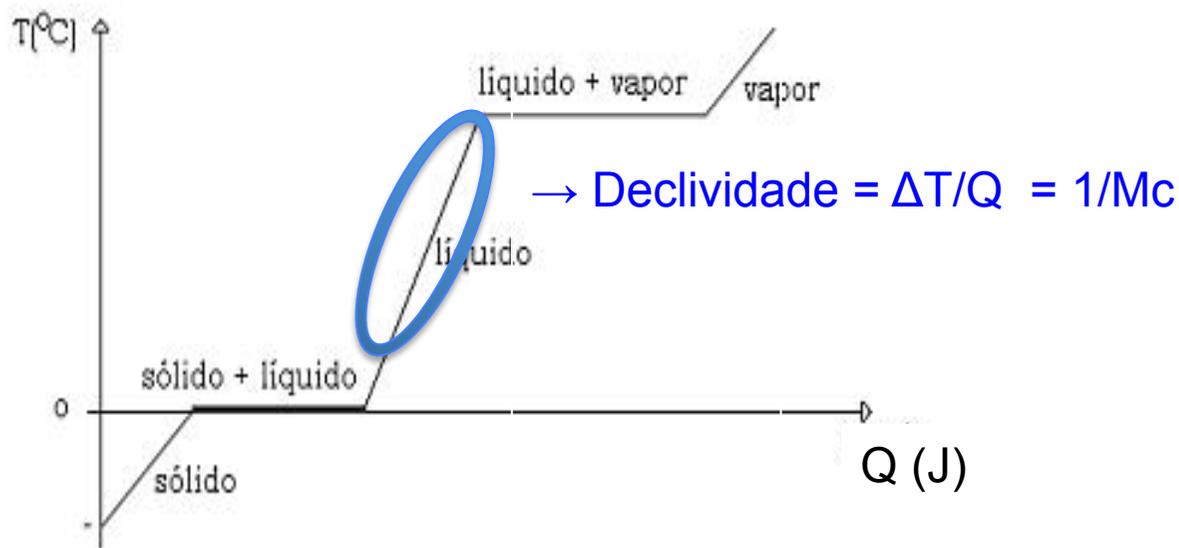
Propriedades Térmicas da Matéria

Caso 1: longe das transições de fase

Empiricamente: esquentando uma substância verificamos

$$Q = Mc\Delta T$$

onde: **c** = **Calor Específico** (unid: J / kg K) = Qtde de calor absorvido que produz $\Delta T=1K$ (ou $1^\circ C$) em 1,0 kg da substância.



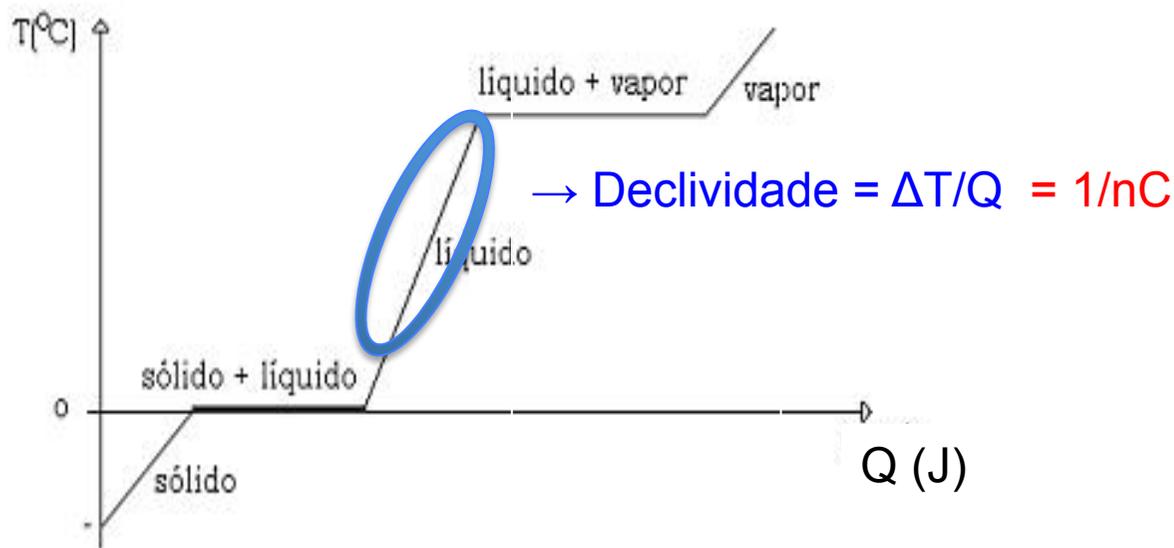
Propriedades Térmicas da Matéria

Caso 1: longe das transições de fase

Empiricamente: esquentando uma substância verificamos

$$Q = Mc\Delta T = nC\Delta T$$

onde: **C** = **Calor Específico molar** (unid: J / mol K) = Qtde de calor absorvido que produz $\Delta T=1\text{K}$ (ou 1°C) em 1,0 **mol** da substância.



Obs: valores de c ou C dependem da maneira como aquecemos a substância.

Para **sólidos e líquidos**, valores tabelados assumem um ambiente a pressão cte, e tb que estamos apenas aplicando Q (ie que não estamos tb realizando W dissipativo a la Joule). Nesse caso vale tb

$$\Delta E^{\text{term}} = Mc\Delta T = nC\Delta T$$

Propriedades Térmicas da Matéria

Substância	c (J/kg K)	C (J/mol K)	
Sólidos			
Alumínio	900	24,3	notem a semelhança! Veremos o motivo no próx. capítulo
Cobre	385	24,4	
Ferro	449	25,1	
Ouro	129	25,4	
Chumbo	128	26,5	
Gelo	2090	37,6	
Líquidos			
Álcool etílico	2400	110,4	
Mercúrio	140	28,1	
Água	4190	75,4	

muito grande!

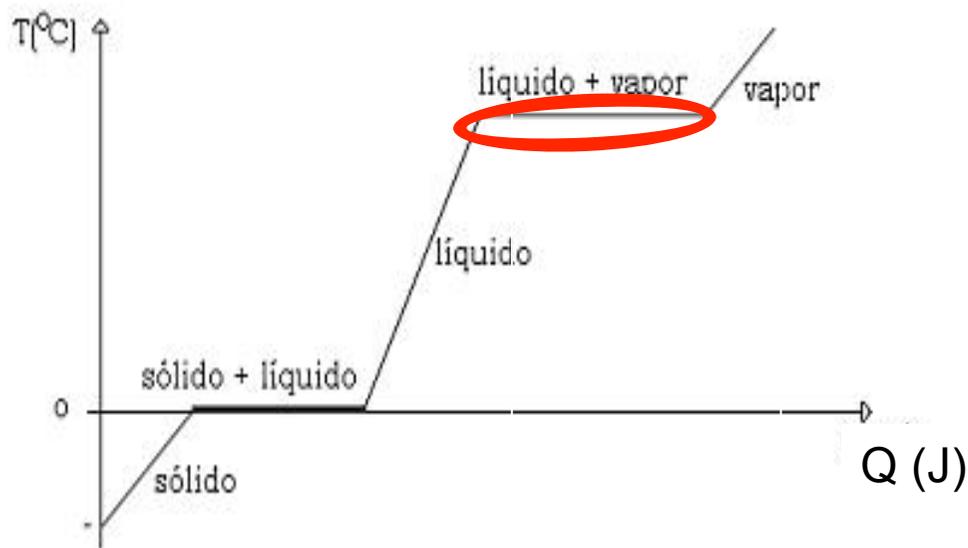
Propriedades Térmicas da Matéria

Caso 2: mudança de fase

Empiricamente: esquentando uma substância verificamos que T não muda, e

$$Q = \pm ML$$

onde: L = **Calor Latente** (unid: J / mol kg) = Qtde de calor absorvido ou retirado para 1 kg desta substância completar a sua transição de fase



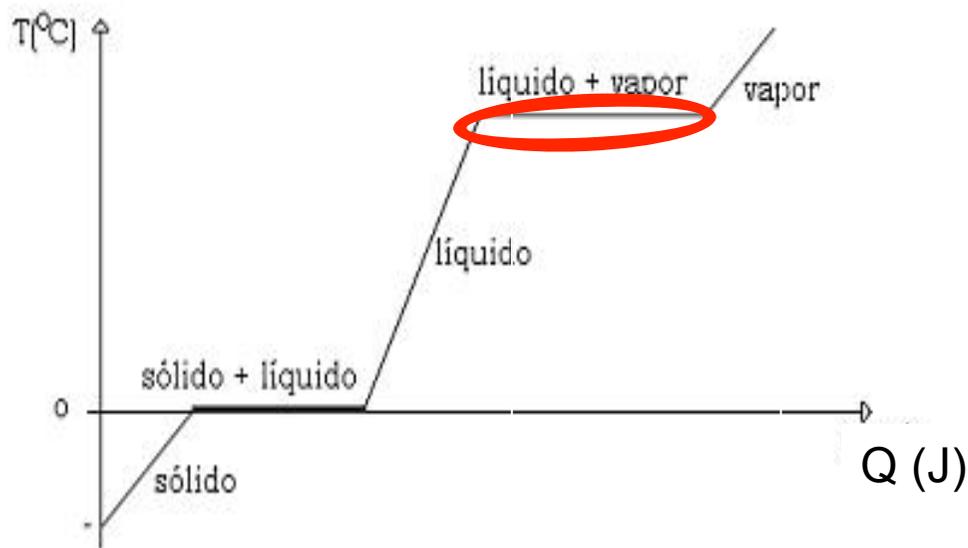
Propriedades Térmicas da Matéria

Caso 2: mudança de fase

Empiricamente: esquentando uma substância verificamos que T não muda, e

$$Q = \pm ML$$

onde: $L =$ **Calor Latente** (unid: J / mol kg) = Qtde de calor absorvido ou retirado para 1 kg desta substância completar a sua transição de fase



Obs: Novamente, aqui supomos que estamos apenas aplicando Q (ie que não estamos tb realizando W dissipativo a la Joule). Nesse caso vale tb

$$\Delta E^{\text{term}} = \pm ML$$

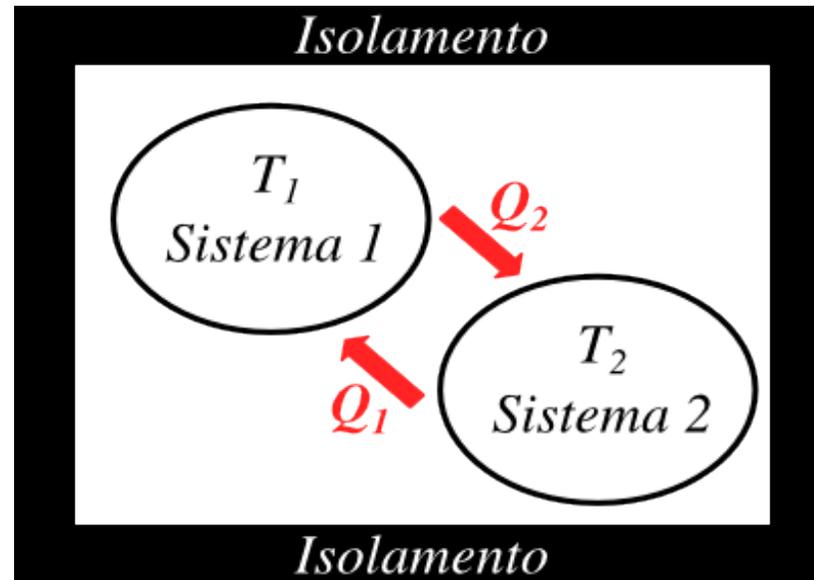
Propriedades Térmicas da Matéria

TABELA 17.3 Temperaturas de fusão/ebulição e calores latentes de algumas substâncias

Substância	T_f (°C)	L_f (J/kg)	T_e (°C)	L_v (J/kg)
Nitrogênio (N ₂)	-210	$0,26 \times 10^5$	-196	$1,99 \times 10^5$
Álcool etílico	-114	$1,09 \times 10^5$	78	$8,79 \times 10^5$
Mercúrio	-39	$0,11 \times 10^5$	357	$2,96 \times 10^5$
Água	0	$3,33 \times 10^5$	100	$22,6 \times 10^5$
Chumbo	328	$0,25 \times 10^5$	1750	$8,58 \times 10^5$

Propriedades Térmicas da Matéria

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)



$Q_1 \rightarrow$ Qtdade de calor recebida pelo sistema 1

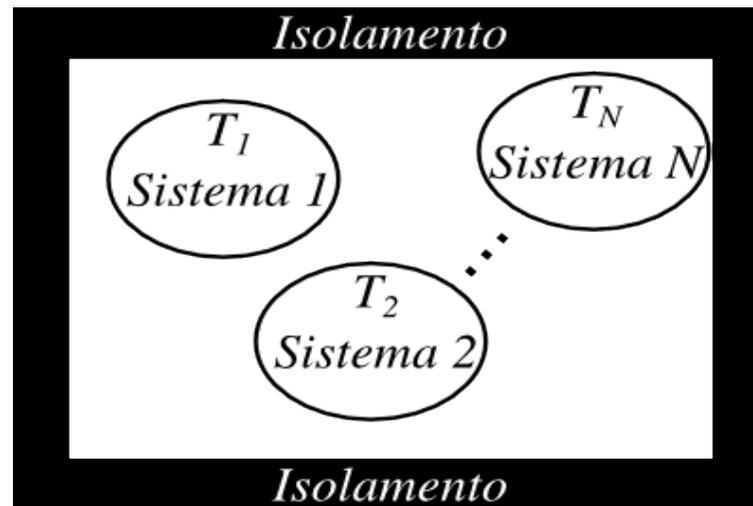
$Q_2 \rightarrow$ Qtdade de calor recebida pelo sistema 2

Como estão isolados e ã há trabalho : $0 = \Delta E^{\text{térm}} = Q_{\text{resultante}} = Q_1 + Q_2$

Propriedades Térmicas da Matéria

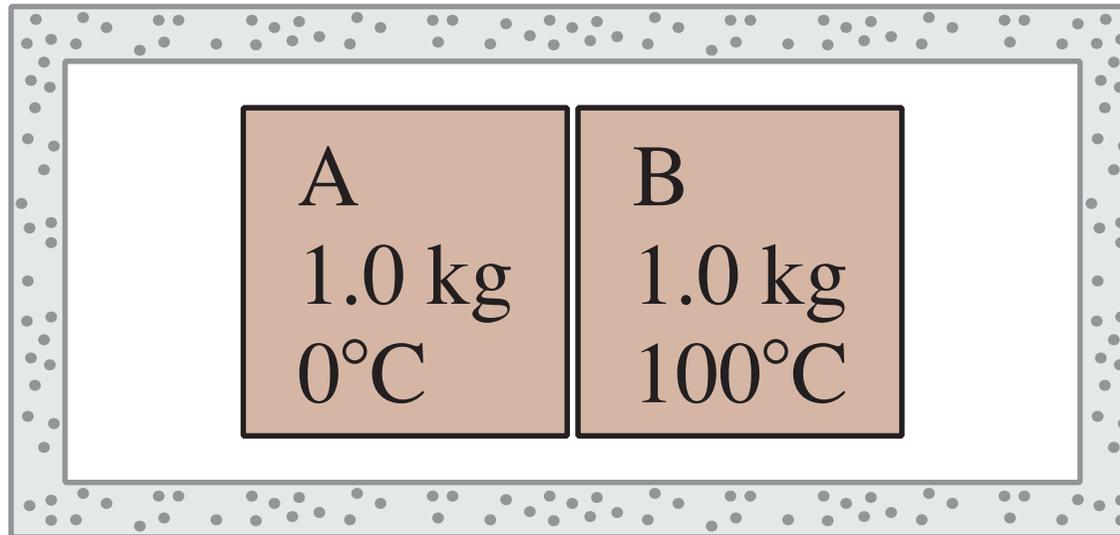
Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Se houver vários sistemas interagindo...



$$Q_{\text{resultante}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \dots + Q_N = 0$$

Propriedades Térmicas da Matéria



Os dois blocos indicados, feitos de materiais diferentes, são colocados em contato em um recipiente isolado. A temperatura final de equilíbrio será

- A) $> 50^{\circ}\text{C}$
- B) $= 50^{\circ}\text{C}$
- C) $< 50^{\circ}\text{C}$
- D) depende

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Teste Conceitual

Um termômetro de 50g é usado para medir a Temperatura de 200mL de água. O calor específico do termômetro, basicamente feito de vidro, é de $750 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, e ele marca 20°C , enquanto repousa sobre uma mesa. Depois de ser completamente imerso na água, a temperatura estabiliza em $71,2^\circ\text{C}$.

- (A) A temperatura da água antes da medida era maior que $71,2^\circ\text{C}$.
- (B) A temperatura da água antes da medida era menor que $71,2^\circ\text{C}$.
- (C) A temperatura da água antes da medida era igual a $71,2^\circ\text{C}$.
- (D) impossível prever.

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Teste Conceitual

Um termômetro de 50g é usado para medir a Temperatura de 200mL de água. O calor específico do termômetro, basicamente feito de vidro, é de $750 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, e ele marca 20°C , enquanto repousa sobre uma mesa. Depois de ser completamente imerso na água, a temperatura estabiliza em $71,2^\circ\text{C}$.

- (A) A temperatura da água antes da medida era maior que $71,2^\circ\text{C}$.
- (B) A temperatura da água antes da medida era menor que $71,2^\circ\text{C}$.
- (C) A temperatura da água antes da medida era igual a $71,2^\circ\text{C}$.
- (D) impossível prever

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Teste Conceitual

Um termômetro de 50g é usado para medir a Temperatura de 200mL de água. O calor específico do termômetro, basicamente feito de vidro, é de $750 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$, e ele marca 20°C , enquanto repousa sobre uma mesa. Depois de ser completamente imerso na água, a temperatura estabiliza em $71,2^\circ\text{C}$.

E se o mesmo termômetro for utilizado para medir a temperatura das águas de um lago? A temperatura indicada representa a temperatura do lago antes da medida?

Calores Específicos de Gases: discussão qualitativa

O mesmo gás pode receber calores diferentes em processos que envolvem a mesma variação de temperatura

Considere duas maneiras de variar a temperatura de um gás de T_i até $T_f > T_i$:

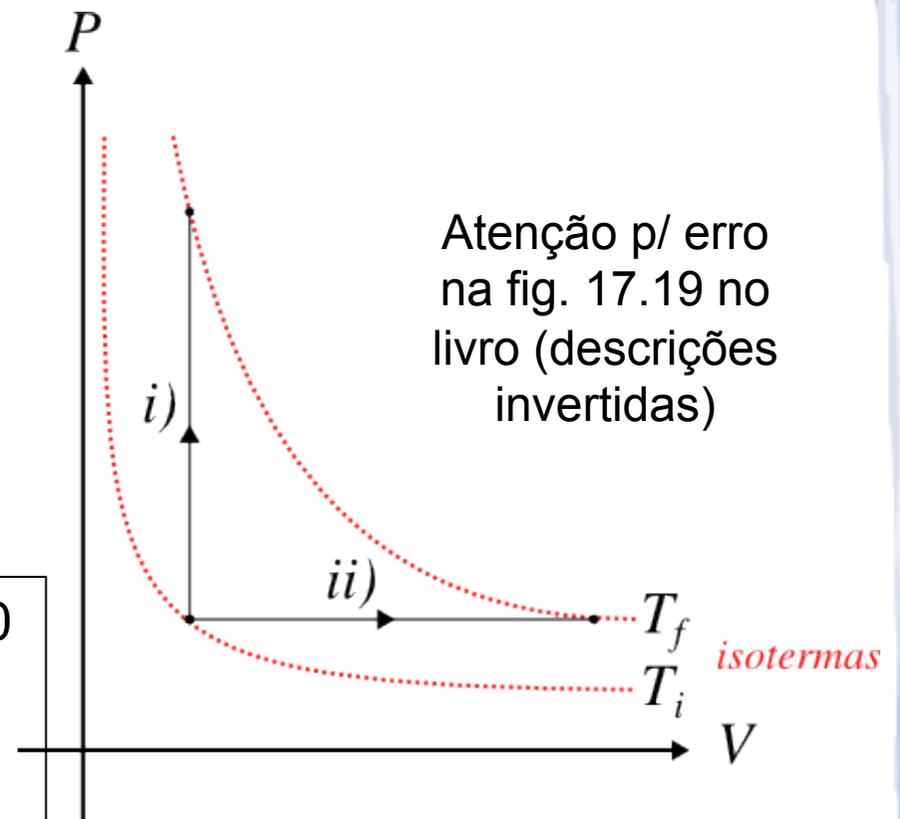
i) *Processo a V cte:* calor $Q_{(i)} = n C_V \Delta T$

ii) *Processo a P cte:* calor $Q_{(ii)} = n C_P \Delta T$

mesmo $\Delta T \rightarrow$ mesmo $\Delta E^{\text{term}} = Q + W$

mas no caso (i) $W_{(i)} = 0$, e no caso (ii) $W_{(ii)} < 0$

portanto $Q_{(ii)} > Q_{(i)} \rightarrow C_P > C_V !$



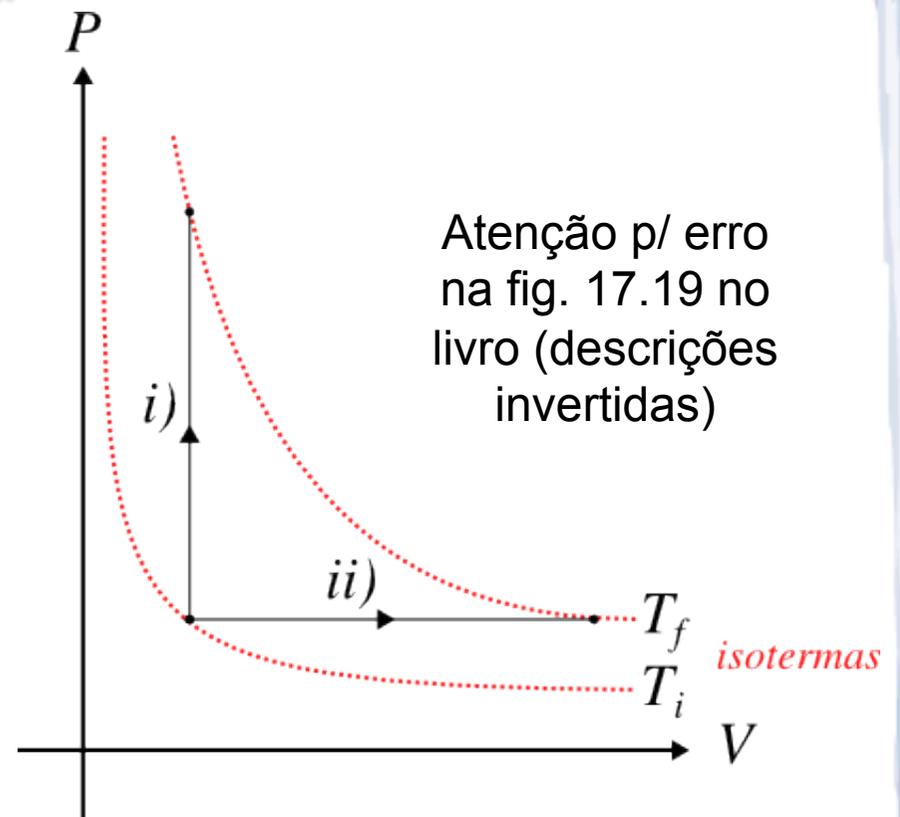
Calores Específicos de Gases: discussão qualitativa

O mesmo gás pode receber calores diferentes em processos que envolvem a mesma variação de temperatura

TABELA 17.4 Calores específicos molares de gases (J/mol K)

Gás	C_P	C_V	$C_P - C_V$
Gases monoatômicos			
He	20,8	12,5	8,3
Ne	20,8	12,5	8,3
Ar	20,8	12,5	8,3
Gases diatômicos			
H ₂	28,7	20,4	8,3
N ₂	29,1	20,8	8,3
O ₂	29,2	20,9	8,3

Atenção p/ erro no livro (ordem trocada!)



Calores Específicos de Gases: discussão qualitativa

Outra forma de ver: o mesmo calor Q , adicionado de formas diferentes ao gás, resulta em temperaturas finais diferentes. Quanto maior o C do processo, menor a variação em T .

$$\Delta T = \frac{Q}{nC}$$

Teste Conceitual

3,0 moles de O_2 a 20°C são aquecidos de modo a absorver 600J de calor a pressão constante. Em seguida são resfriados a volume constante, perdendo os mesmos 600J de calor. Neste processo:

- (A) $\Delta T=0$.
- (B) $\Delta T>0$.
- (C) $\Delta T<0$.
- (D) Com essas informações não é possível determinar ΔT .

Calores Específicos de Gases: discussão qualitativa

Outra forma de ver: o mesmo calor Q , adicionado de formas diferentes ao gás, resulta em temperaturas finais diferentes. Quanto maior o C do processo, menor a variação em T .

$$\Delta T = \frac{Q}{nC}$$

Teste Conceitual

3,0 moles de O_2 a $20^\circ C$ são aquecidos de modo a absorver 600J de calor a pressão constante. Em seguida são resfriados a volume constante, perdendo os mesmos 600J de calor. Neste processo:

- (A) $\Delta T = 0$.
- (B) $\Delta T > 0$.
- (C) $\Delta T < 0$.
- (D) Com essas informações não é possível determinar ΔT .

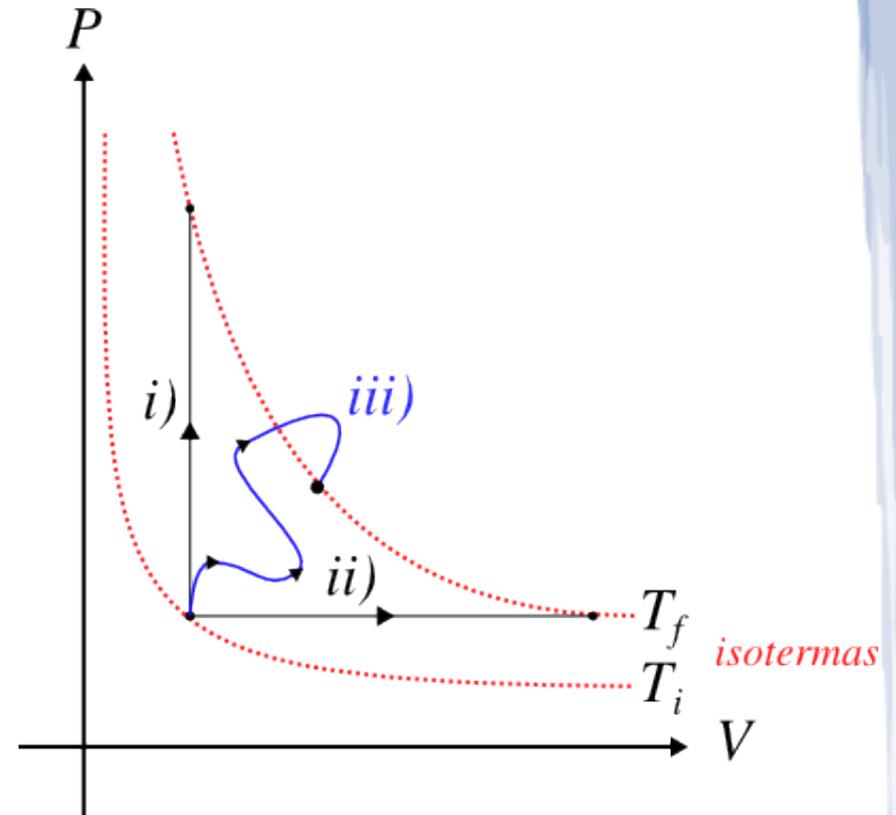
Calores Específicos de Gases: discussão **quantitativa**

De modo geral, **Q (e tb C)** dependerão do caminho.

P: como calcular Q de um caminho geral, como (iii), no qual P e V podem variar simultaneamente?

R: utilizando a **1ª Lei da Termodinâmica**

$$Q = \Delta E^{term} - W$$

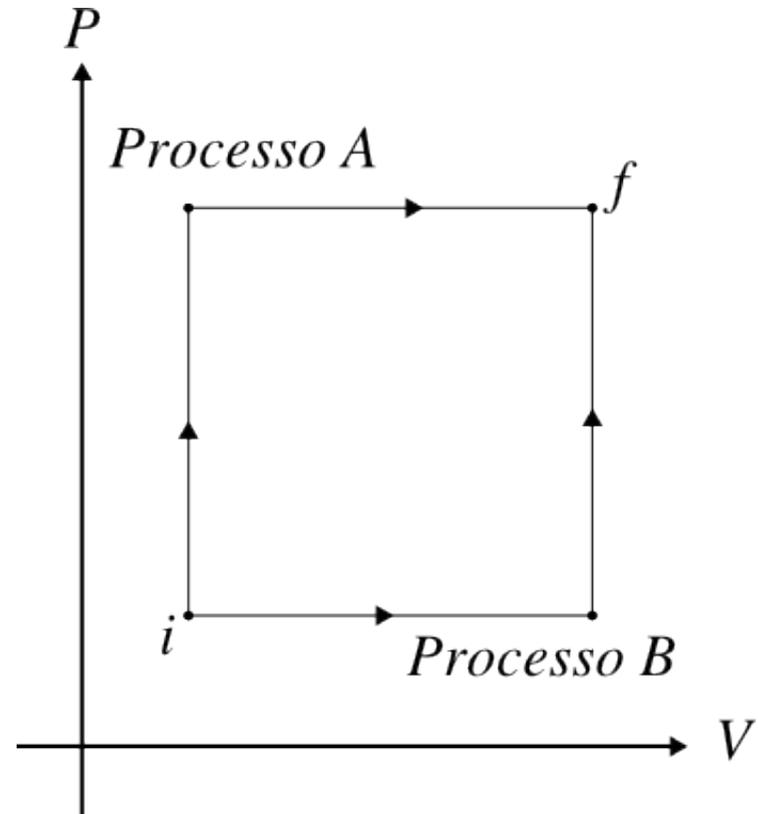


Já sabemos que $W = - \int_i^f P(V) dV$ para o caminho;
basta então descobrir como tb calcular ΔE^{term}

Teste Conceitual

Com relação aos processos ao lado:

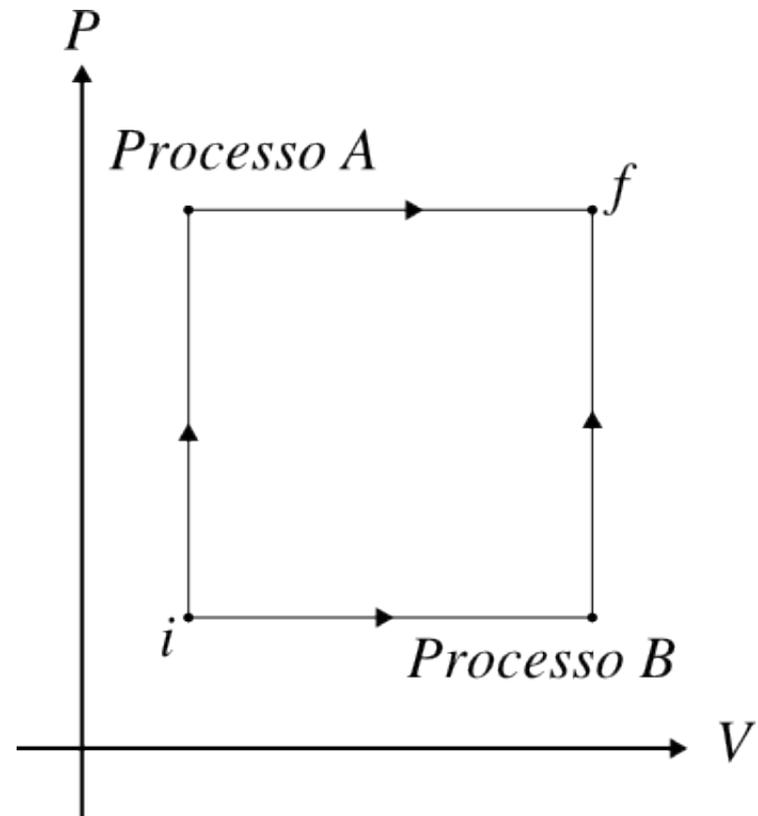
- (A) $Q_A > Q_B$
- (B) $Q_A < Q_B$
- (C) $Q_A = Q_B$



Teste Conceitual

Com relação aos processos ao lado:

- (A) $Q_A > Q_B$
- (B) $Q_A < Q_B$
- (C) $Q_A = Q_B$



Calores Específicos de Gases: discussão **quantitativa**

- Sabemos que ΔE^{term} é o mesmo em qualquer processo que envolva o mesmo ΔT

Por ex: (i), (ii) e (iii) têm o mesmo ΔE^{term}

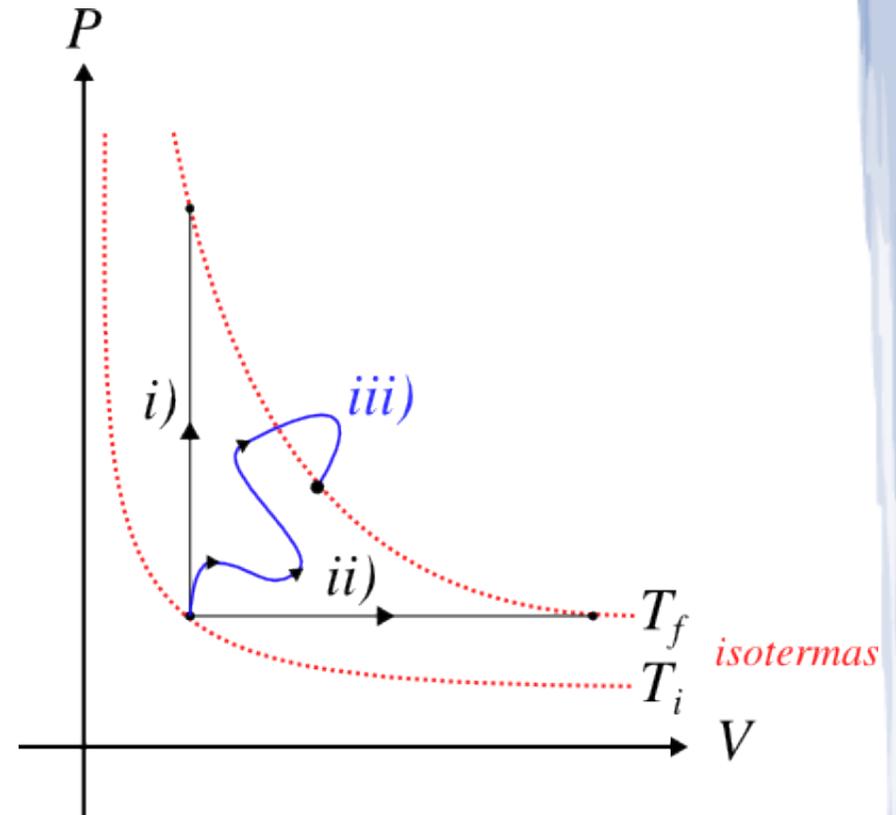
- Mas em (i), podemos escrever

$$\begin{aligned}\Delta E^{\text{term}} (i) &= Q_{(i)} + \cancel{W_{(i)}} \\ &= Q_{(i)} = n C_V \Delta T\end{aligned}$$

Conclusão

Para **qualquer processo**, mesmo que não seja a V constante, vale que

$$\Delta E^{\text{term}} = n C_V \Delta T$$



Calores Específicos de Gases: discussão **quantitativa**

Conclusão

Para **qualquer processo**, mesmo que não seja a V constante, vale que

$$Q = n C_V \Delta T + \int_i^f P(V) dV$$

Aplicação: relação entre C_p e C_v - Quantitativo

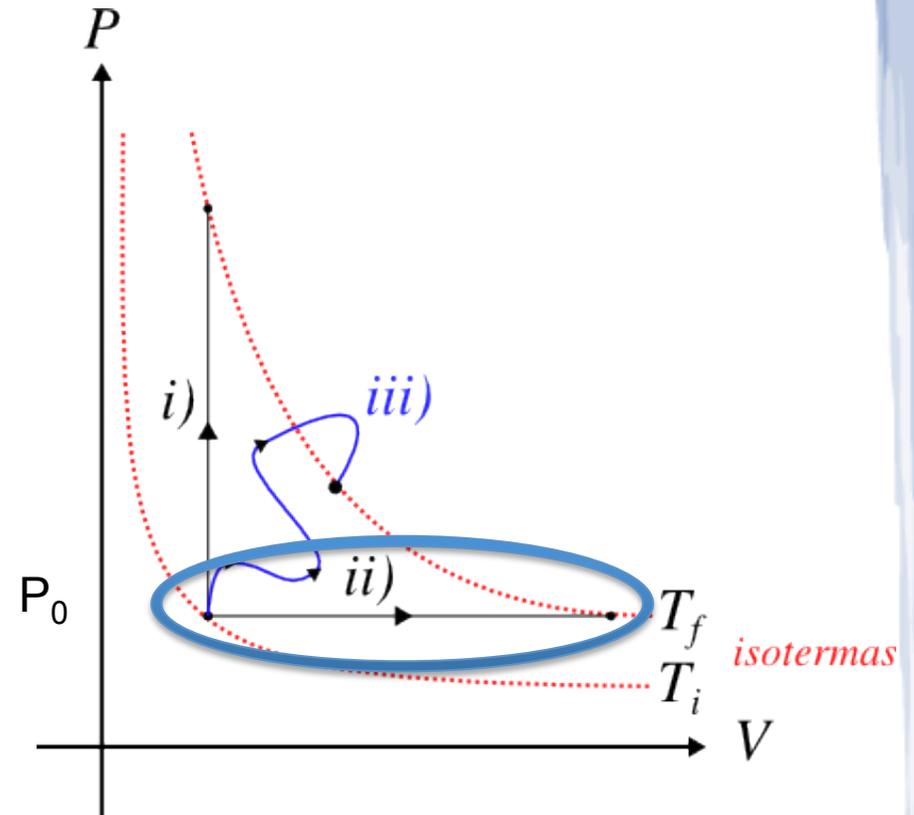
- No processo a P constante (ii) :

$$\begin{aligned}\Delta E^{\text{tér}} \text{ (ii)} &= Q_2 + W_2 \\ &= n C_p \Delta T - P_0 \Delta V\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{(Lei Gases ideais)} &= n C_p \Delta T - nR\Delta T \\ &= (C_p - R)n\Delta T\end{aligned}$$

e como sempre vale $\Delta E^{\text{tér}} = n C_v \Delta T$:

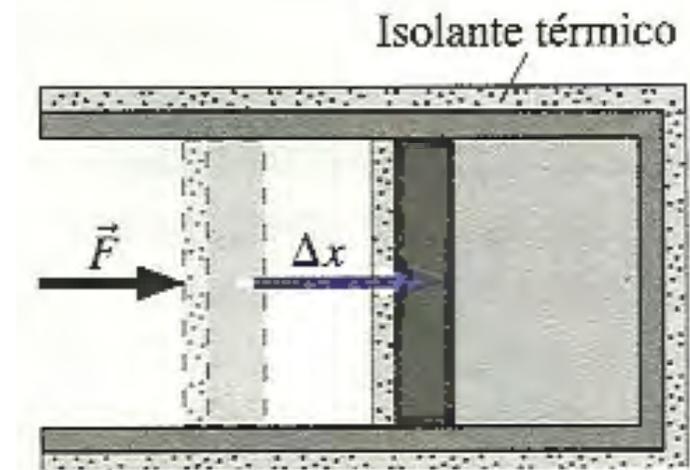
$$C_p - C_v = R = 8,31 \text{ J/mol K}$$



obs: veremos no cap 18 como calcular C_v (e portanto C_p) para gases ideais, obtendo boa concordância com os dados experimentais

Processos adiabáticos

- São aqueles em que nenhum calor é trocado ($Q=0$)
- Situações onde ocorre:
 1. Quando o sistema está muito bem isolado termicamente
 2. Quando o tempo de interação do sistema com sua vizinhança é curto o suficiente para que não dê tempo de calor entrar ou sair

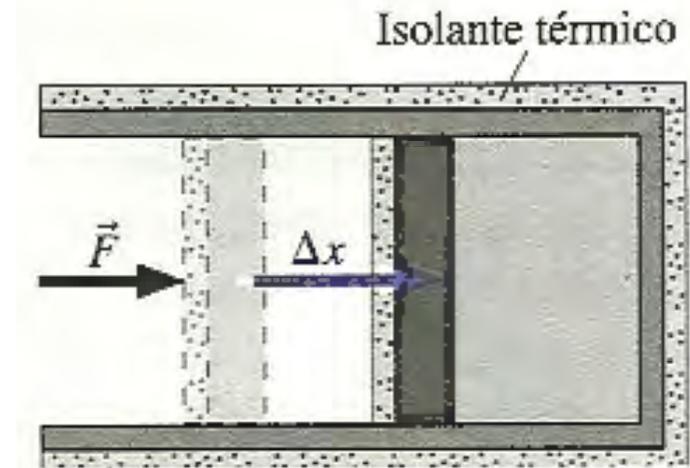


Processos adiabáticos ($Q=0$)

Teste conceitual

Em um processo adiabático

- A) A temperatura varia ($\Delta T \neq 0$) e a capacidade térmica vale zero
- B) A temperatura varia ($\Delta T \neq 0$) e a capacidade térmica é $\neq 0$
- C) A temperatura não varia ($\Delta T = 0$), e a capacidade térmica é $\neq 0$
- D) A temperatura não varia ($\Delta T = 0$), e a capacidade térmica vale zero

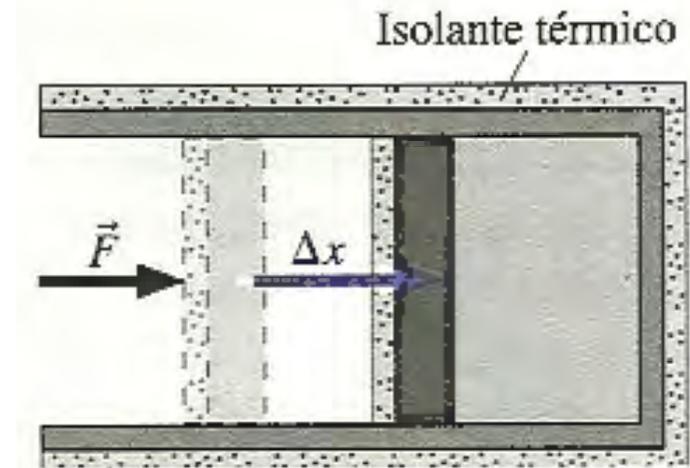


Processos adiabáticos ($Q=0$)

Teste conceitual

Em um processo adiabático

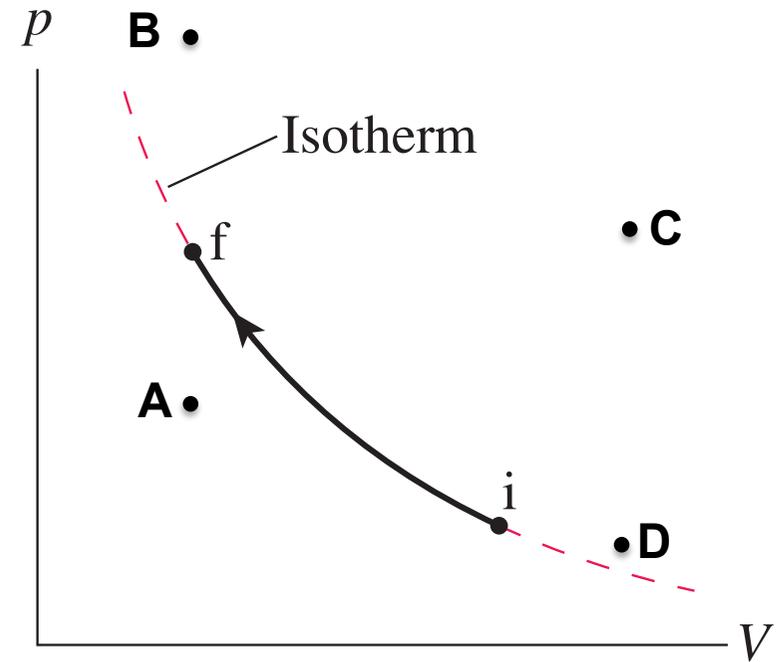
- A) A temperatura varia ($\Delta T \neq 0$) e a capacidade térmica vale zero
- B) A temperatura varia ($\Delta T \neq 0$) e a capacidade térmica é $\neq 0$
- C) A temperatura não varia ($\Delta T = 0$), e a capacidade térmica é $\neq 0$
- D) A temperatura não varia ($\Delta T = 0$), e a capacidade térmica vale zero



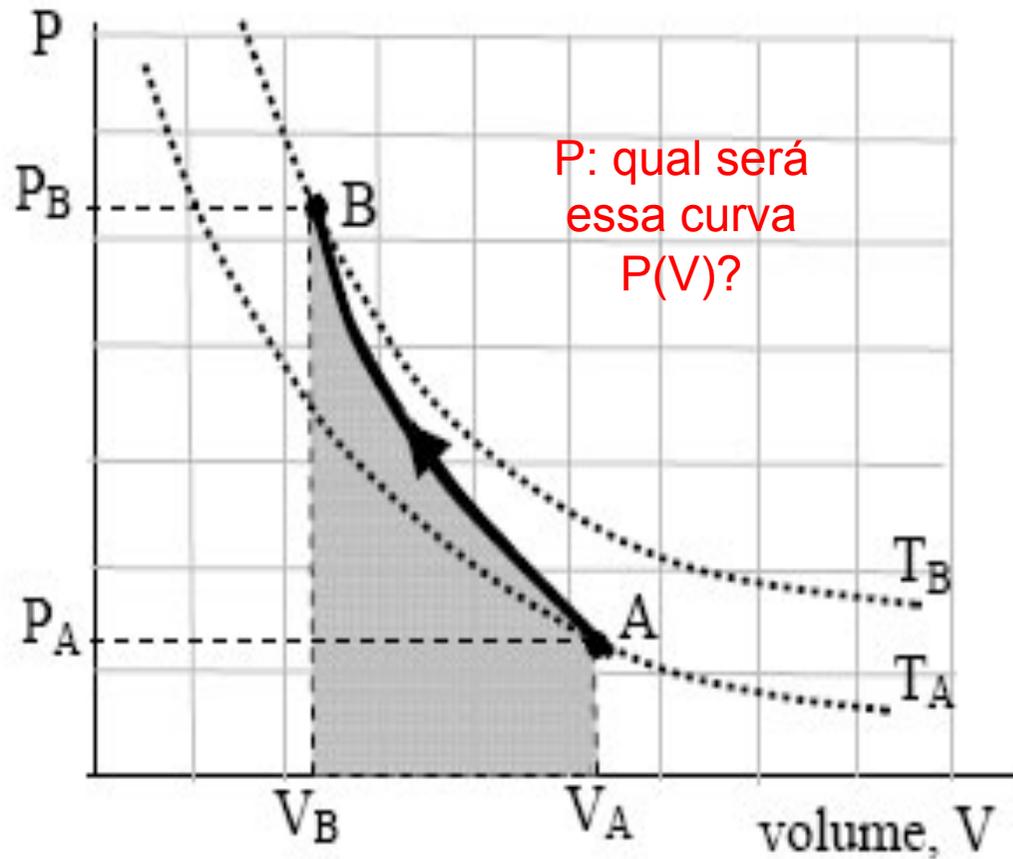
Processos adiabáticos ($Q=0$)

Teste conceitual: A figura mostra uma isoterma. Qual dos quatro pontos indicados pode ser alcançado partindo do ponto (i) através de um processo adiabático?

Dica: Como tem de variar a temperatura numa expansão adiabática? E numa compressão adiabática?



Processos adiabáticos ($Q=0$)



Descrições equivalentes

$$P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma$$



$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

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

Obs: Deduziremos no cap. 18 que $\gamma = \begin{cases} 5/3 = 1,67, & \text{para gases monoatômicos} \\ 7/5 = 1,4, & \text{para gases diatômicos} \end{cases}$

Mecanismos de transferência de Calor

Como o calor é transferido de um corpo mais quente para outro mais frio?

Mecanismos de transferência de Calor

Como o calor é transferido de um corpo mais quente para outro mais frio?

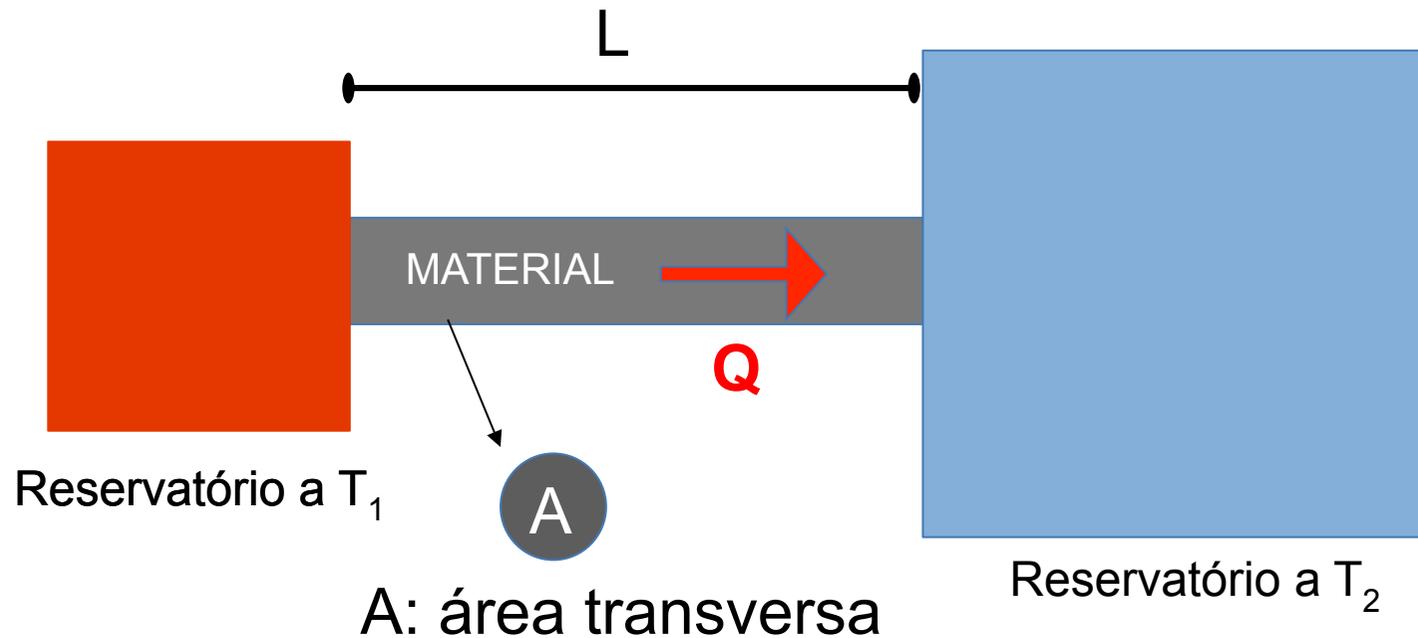
4 Mecanismos:

- **Evaporação**
- **Condução**
- **Convecção**
- **Irradiação**

Mecanismos de transferência de Calor

Condução

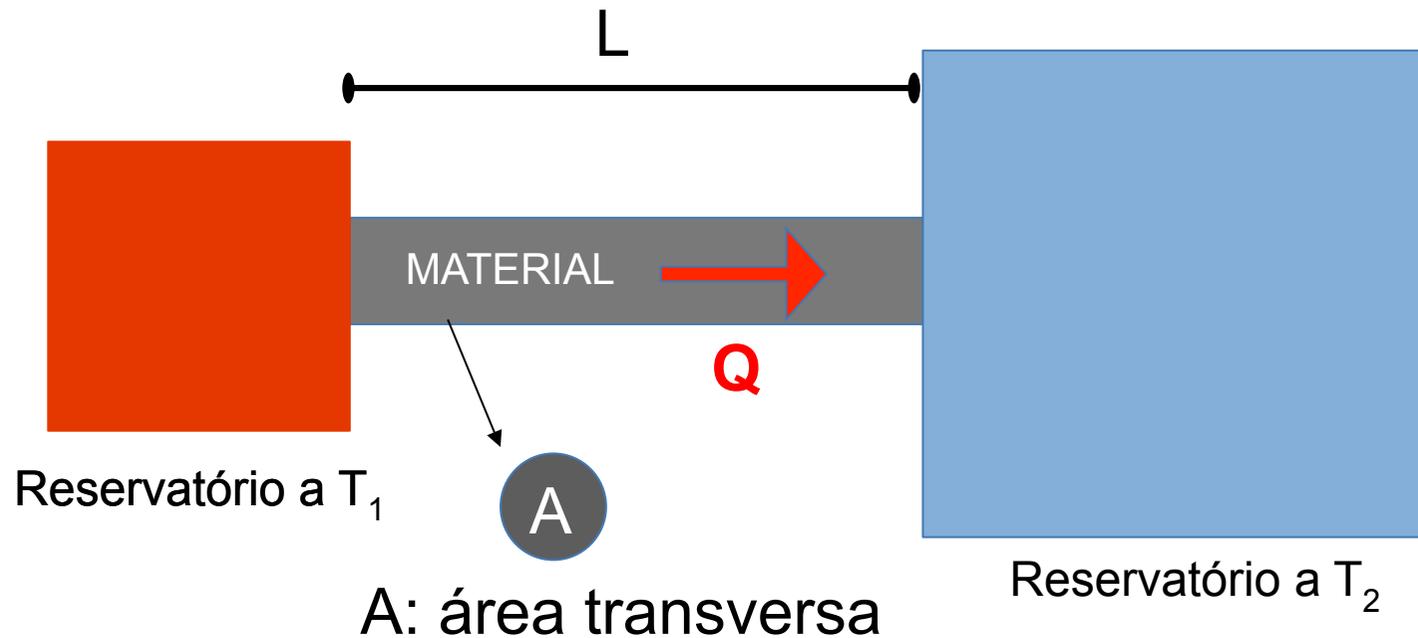
Transferência de calor através das vibrações de um meio material (**sem transporte de massa**) devido a uma ΔT .



Mecanismos de transferência de Calor

Condução

Transferência de calor através das vibrações de um meio material (**sem transporte de massa**) devido a uma ΔT .



Expressão (empírica) para o Fluxo de calor através do material:

$$\frac{Q}{\Delta t} = k \frac{A}{L} \Delta T$$

Mecanismos de transferência de Calor

Convecção

Transferência de energia térmica através de um meio material (**com transporte de massa**) devido a uma ΔT .
Ocorre somente nos fluidos!



Ex: o ar ou água são péssimos condutores de calor, porém transmitem facilmente a energia térmica por convecção.

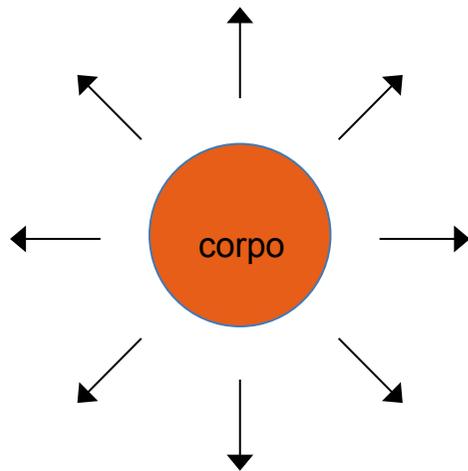
obs: análise quantitativa é muito complicada (turbulência...)

Mecanismos de transferência de Calor

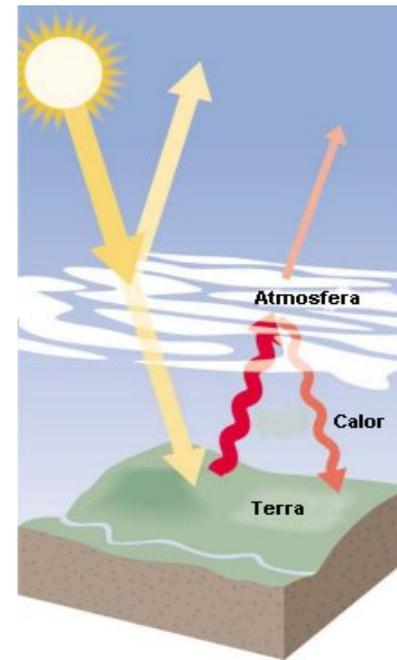
Irradiação

Transferência de calor através das ondas eletromagnéticas (luz).
Não há necessidade de meios materiais!

Todo corpo irradia o tempo todo!



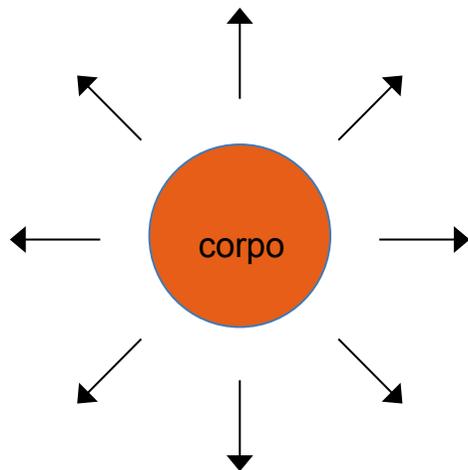
Ex: efeito estufa



Mecanismos de transferência de Calor

Irradiação

Transferência de calor através das ondas eletromagnéticas (luz).
Não há necessidade de meios materiais!



J. Stefan determinou empiricamente (1879) que a potência emitida na forma de calor irradiado por um corpo à temperatura T depende de T na forma

$$\frac{Q}{\Delta t} = e\sigma AT^4$$

A = área superficial do corpo

e = emissividade (Depende do material: $0 \leq e \leq 1$,
sendo $= 1$ para emissor /absorvedor perfeito)

σ = cte de Stefan-Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

Obs: Essa relação foi justificada teoricamente por L. Boltzmann (1884) usando termodinâmica mais avançada do que faremos neste curso. Mais tarde (1900) o valor exato de σ foi obtido como uma consequência da teoria quântica da luz por M. Planck