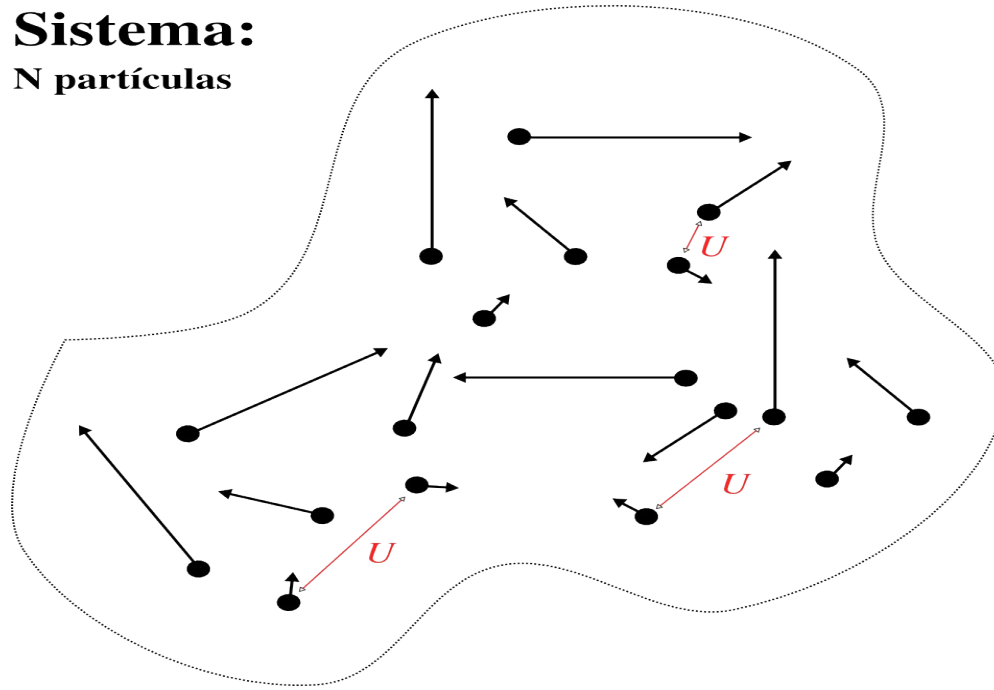


1ª Lei da Termodinâmica

1ª Lei da Termodinâmica

→ Para qualquer sistema de partículas

Sistema:
N partículas



A variação da Energia cinética é

$$\Delta E_C = W_{cons} + W_{diss} + W^{ext}$$

1ª Lei da Termodinâmica

→ Para qualquer sistema de partículas

$$\Delta E_C = W_{cons} + W_{diss} + W^{ext}$$

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

→ Após o lançamento de um objeto, a única força que atua é o peso, que é conservativa.

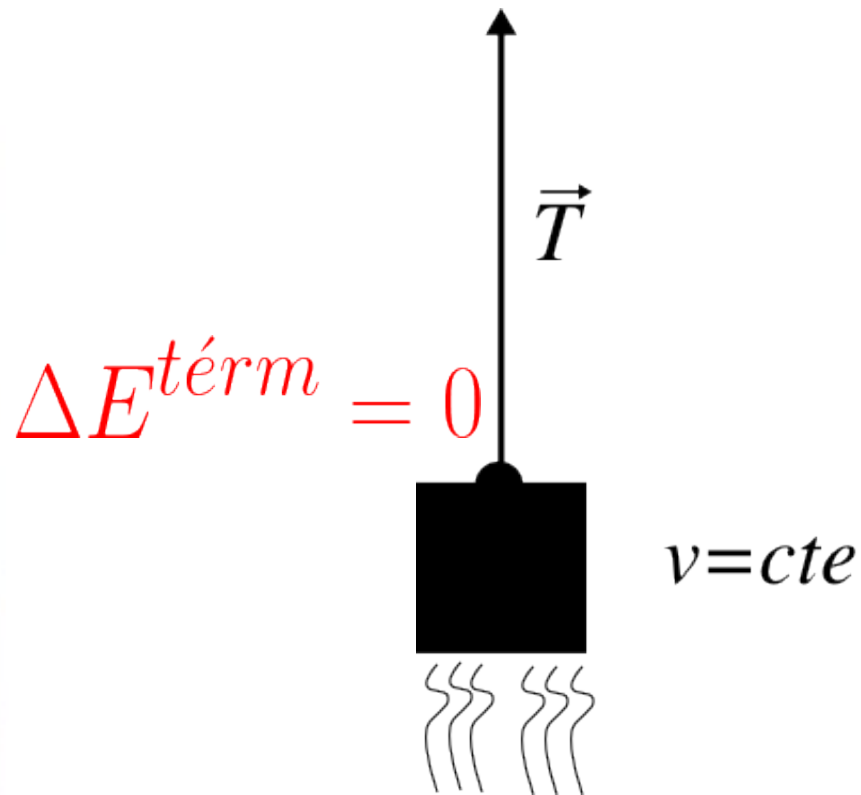
$$W_{diss} = -\Delta E^{term}$$

→ Observamos uma variação na Temperatura do corpo quando este desliza com atrito.

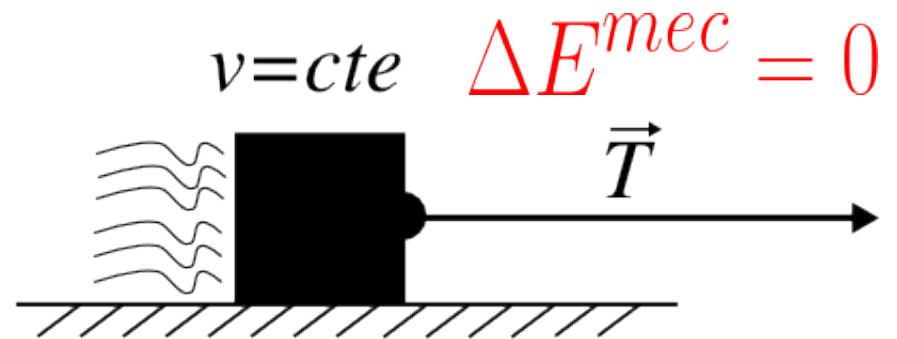
$$\overbrace{\Delta E_C + \Delta U}^{\Delta E^{macro}} + \overbrace{\Delta E^{term}}^{\Delta E^{micro}} = W^{ext}$$

1ª Lei da Termodinâmica

→ O trabalho pode ter consequências bem diferentes



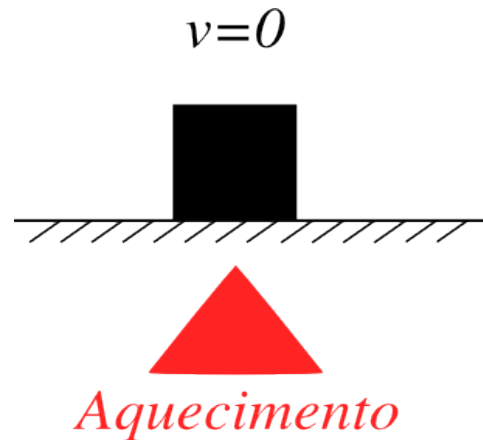
$$W^T = \Delta E^{mec}$$



$$W^T = \Delta E^{term}$$

1ª Lei da Termodinâmica

→ O trabalho não é a única maneira de se provocar uma variação na energia do sistema



$$\Delta E^{t\acute{e}rm} > 0$$

$$\Delta E^{mec} = W = 0$$

1ª Lei da Termodinâmica

→ O trabalho não é a única forma de transmissão de energia!!!

A equação que aprendemos da Física 1 está incompleta...

$$\Delta E_{\text{sist}} = W_{\text{cons}} + W_{\text{diss}} + W^{\text{ext}} + ???$$

Qual a grandeza física que devemos adicionar para resolvermos a questão do balanço de energia em sistemas de partículas?

1ª Lei da Termodinâmica

→ O trabalho não é a única forma de transmissão de energia!!!

A equação que aprendemos da Física 1 está incompleta...

$$\Delta E_{\text{sist}} = W_{\text{cons}} + W_{\text{diss}} + W^{\text{ext}} + ???$$

O Calor!!!

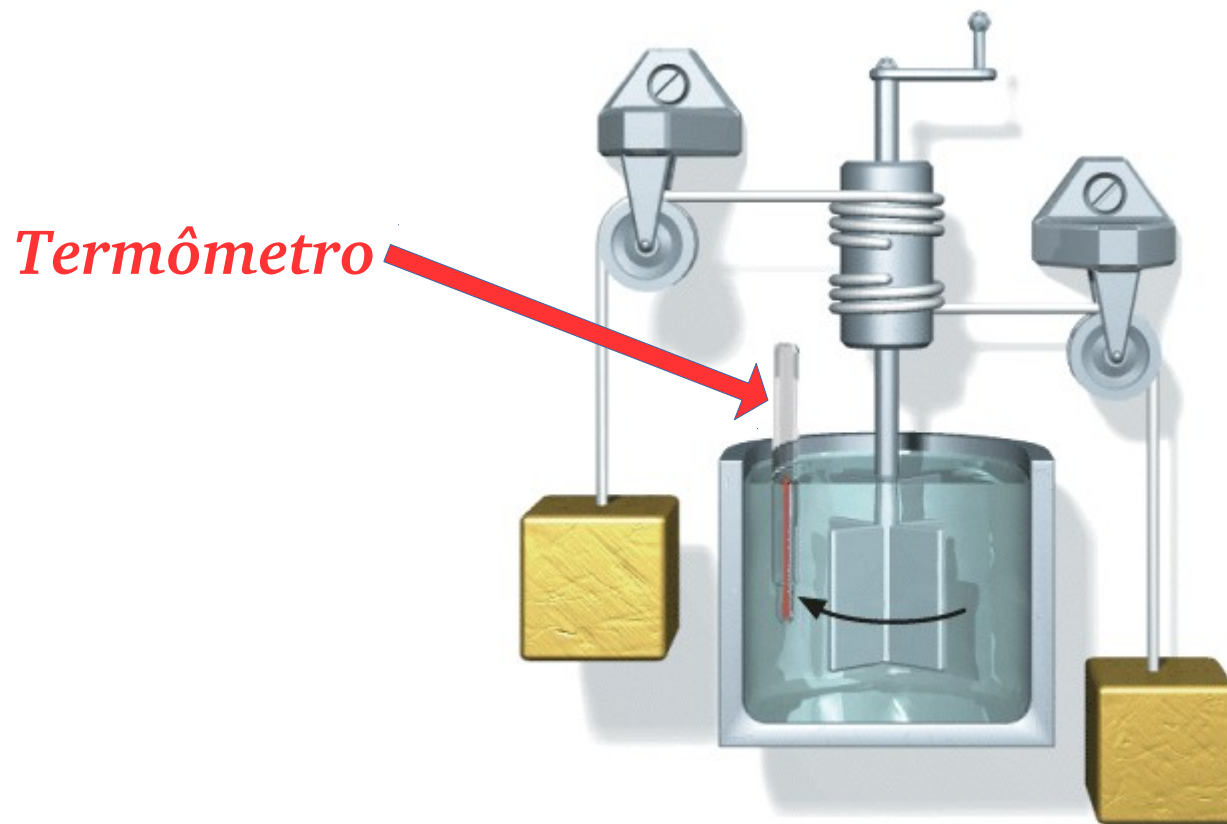
Da mesma forma que o Trabalho (W), o calor é um mecanismo de transferência de energia. No caso mais geral, a Eq. da Conservação da energia é escrita como:

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

1ª Lei da Termodinâmica

→ O trabalho não é a única forma de transmissão de energia!!!
A equação que aprendemos da Física 1 está incompleta...

Experiência de Joule

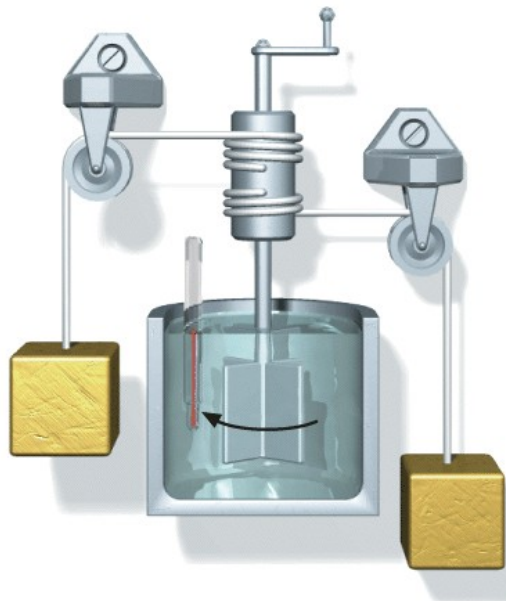


É possível variar a $E^{\text{térm}}$ de um sistema (água) realizando trabalho sobre ela.

1ª Lei da Termodinâmica

→ O trabalho não é a única forma de transmissão de energia!!!

Experiência de Joule



$$1 \text{ caloria} = 4,186 \text{ Joules}$$

Qde de calor necessária para alterar a temperatura de 1g de água em 1° C.

1ª Lei da Termodinâmica

→ Convenção

Q é positivo → Energia é transferida para o sistema.

Q é negativo → Energia é transferida do o sistema.

Atenção!

Q e W não são Variáveis de Estado do sistema.

1ª Lei da Termodinâmica

→ A Eq. da 1ª Lei da Termodinâmica – **válida para sistemas em repouso!**

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

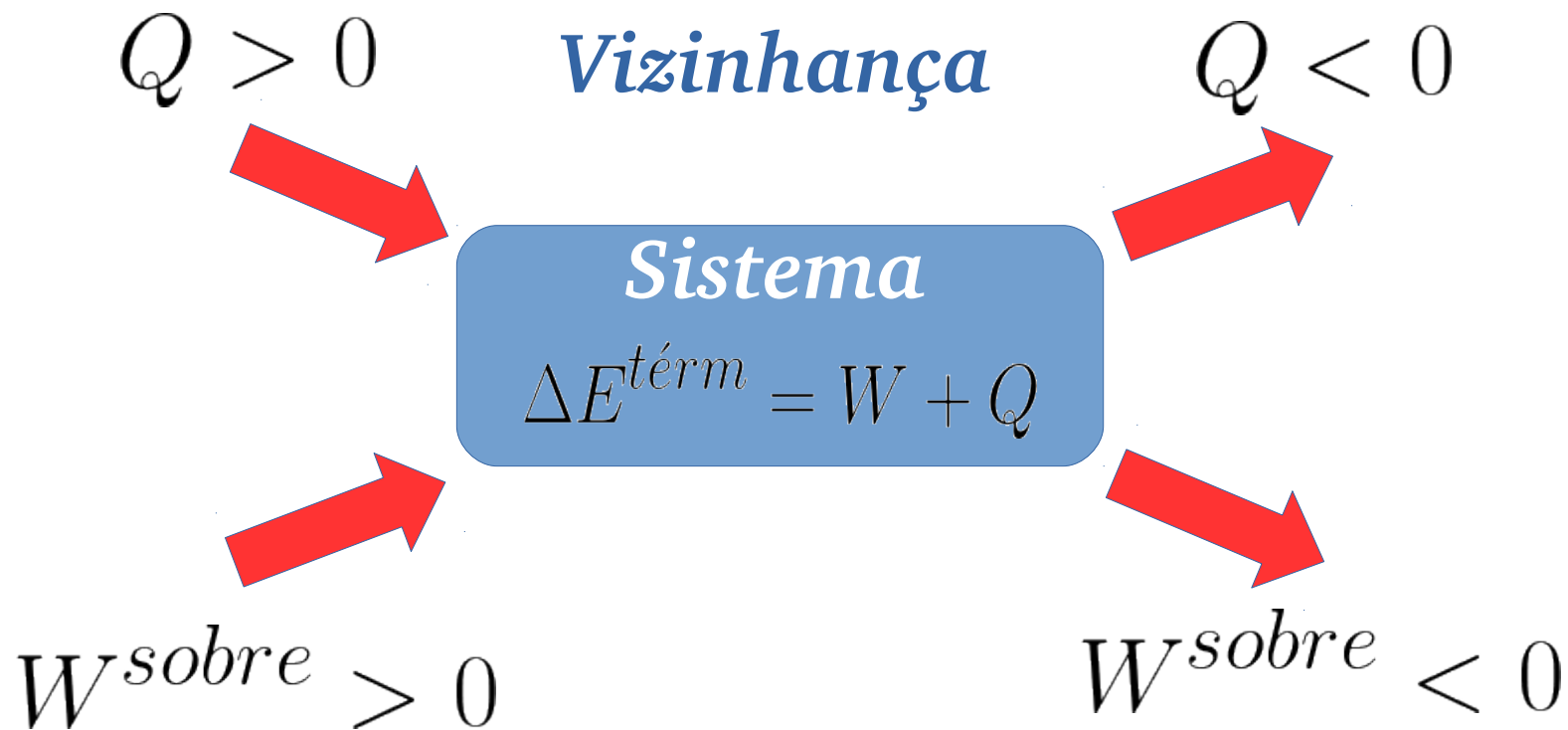


$$\Delta E^{sist} = \Delta E^{term} = W + Q$$

Eq. da 1ª Lei da Termodinâmica

1ª Lei da Termodinâmica

→ A Eq. da 1ª Lei da Termodinâmica – válida para sistemas em repouso!



1ª Lei da Termodinâmica

→ Trabalho num gás ideal confinado

-
-
-

1ª Lei da Termodinâmica

Teste Conceitual 1

Quais dos seguintes processos não envolvem calor?

- (A) Você empurra um pistão dentro de um cilindro com gás, aumentando a temperatura do mesmo. (cilindro e pistão são isolantes térmicos)
- (B) Você coloca um cilindro metálico com gás dentro de água quente. O gás 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 são verdadeiras.

1ª Lei da Termodinâmica

Teste Conceitual 1

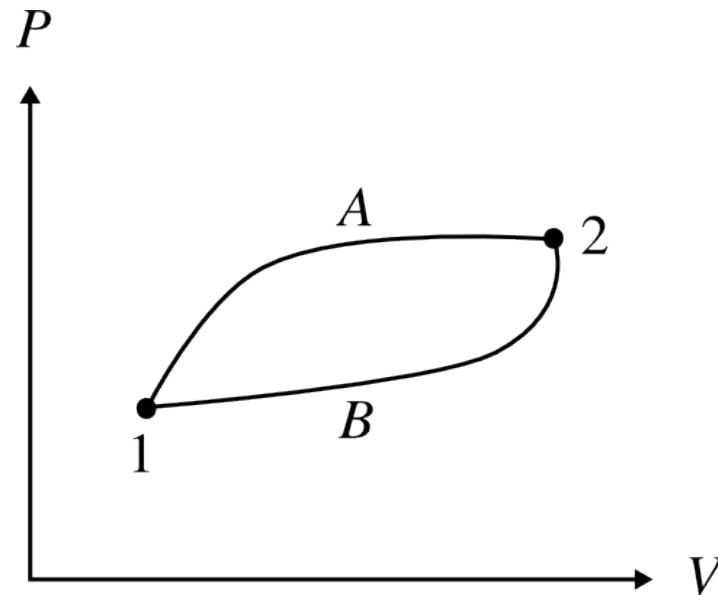
Quais dos seguintes processos não envolvem calor?

- (A) **Você empurra um pistão dentro de um cilindro com gás, aumentando a temperatura do mesmo. (cilindro e pistão são isolantes térmicos)**
- (B) Você coloca um cilindro metálico com gás dentro de água quente. O gás 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 são verdadeiras.

1ª Lei da Termodinâmica

Teste Conceitual 2

Dois processos levam o gás do estado 1 $\rightarrow$ 2. Compare os trabalhos nos processos A e B.

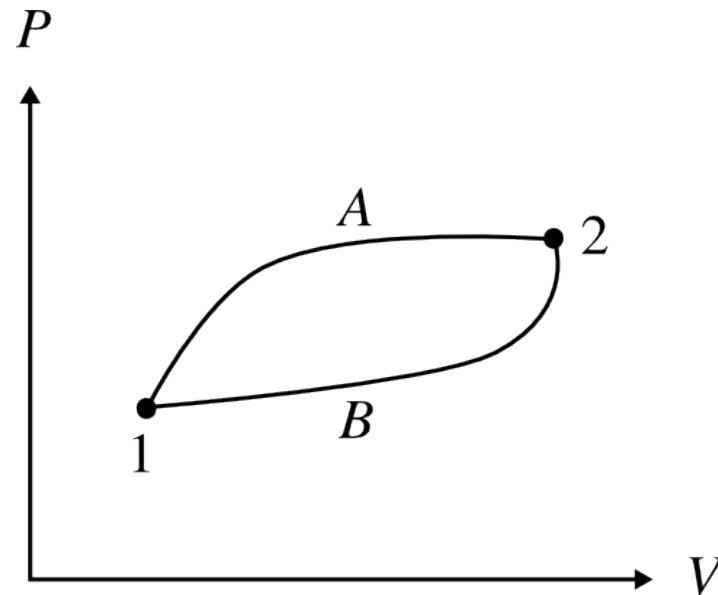


- (A) $W_A = W_B = 0$
- (B) $|W_A| = |W_B| = \text{cte}$
- (C) $W_A > W_B$
- (D) $W_A < W_B$

1ª Lei da Termodinâmica

Teste Conceitual 2

Dois processos levam o gás do estado 1 → 2. Compare os trabalhos nos processos A e B.



(A) $W_A = W_B = 0$

(B) $|W_A| = |W_B| = \text{cte}$

(C) $W_A > W_B$

(D) $W_A < W_B$

1ª Lei da Termodinâmica

Problema: Para o Lar!

2,0 moles de gás ideal, inicialmente a 30°C e a 1,5 atm, sofre um processo e tem seu volume reduzido a $1/3$ de V_0 .

Determine:

(a) $W^{\text{isotérmico}}$

(b) $W^{\text{isobárico}}$

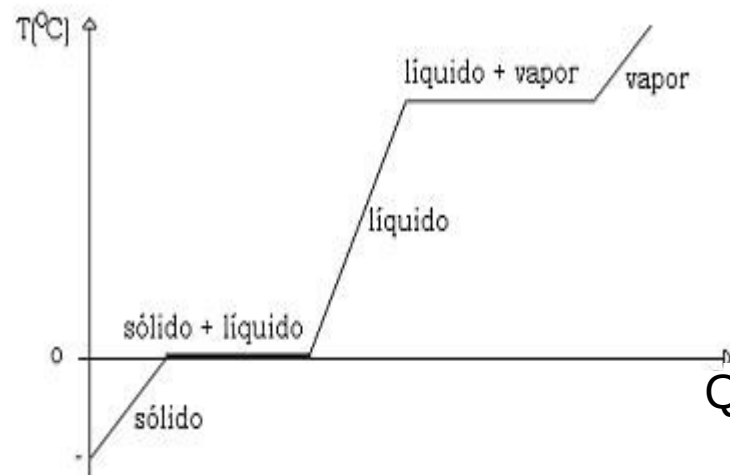
e faça o gráfico representando cada um dos dois processos.

Quais são os efeitos de uma variação da E^{term} em uma substância?

Propriedades Térmicas da Matéria

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

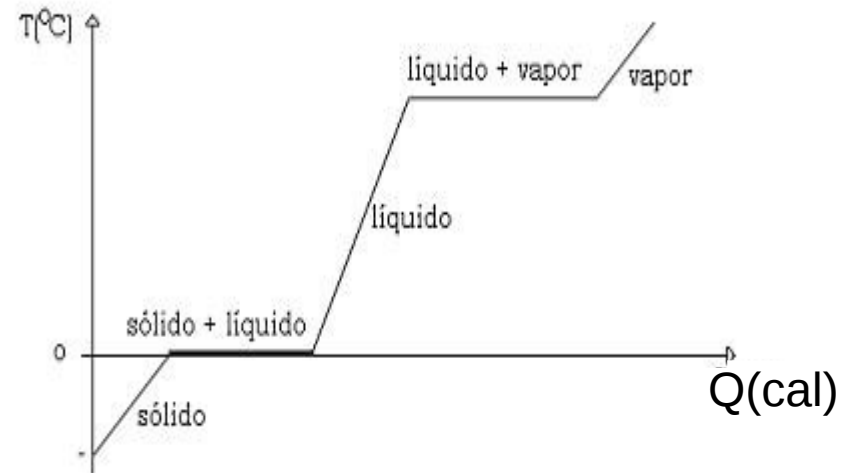
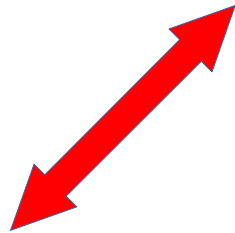
$$\Delta E^{\text{térm}} \left\{ \begin{array}{l} \rightarrow \Delta T \\ \rightarrow \text{Mudança de fase} \end{array} \right.$$



Propriedades Térmicas da Matéria

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

$$\Delta E^{\text{térm}} = Mc\Delta T$$



Calor Específico c :

Quantidade de energia que produz $\Delta T = 1\text{K}$ em 1,0 kg de substância.

Exemplos

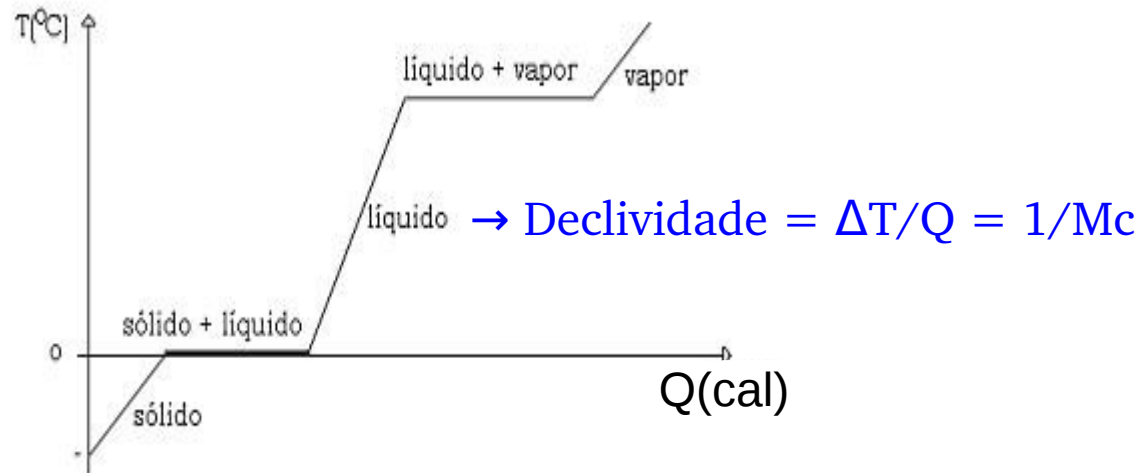
$$c_{\text{água}} = 4190 \text{ J/Kg}\cdot\text{K}$$

$$c_{\text{gelo}} = 2090 \text{ J/Kg}\cdot\text{K}$$

Propriedades Térmicas da Matéria

Quais são os efeitos de uma variação da E^{term} ?

$$\Delta E^{\text{term}} \rightarrow \Delta T$$



Se tivermos considerando um sólido ou um líquido, geralmente a mudança de volume não é apreciável. Assim,

$$\Delta E^{\text{term}} = \cancel{W} + Q$$
$$Q = Mc\Delta T$$

→ Qto maior c , menor será ΔT para uma mesma qtdade de calor Q .

Propriedades Térmicas da Matéria

Quais são os efeitos de uma variação da E^{term} ?

Calor Específico molar:

Quantidade de energia que produz $\Delta T = 1\text{K}$ em 1 mol de substância.

Exemplos

$$C_{\text{água}} = 75,4 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

$$C_{\text{gelo}} = 37,6 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

A maior parte dos sólidos apresenta $c \approx 25 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$

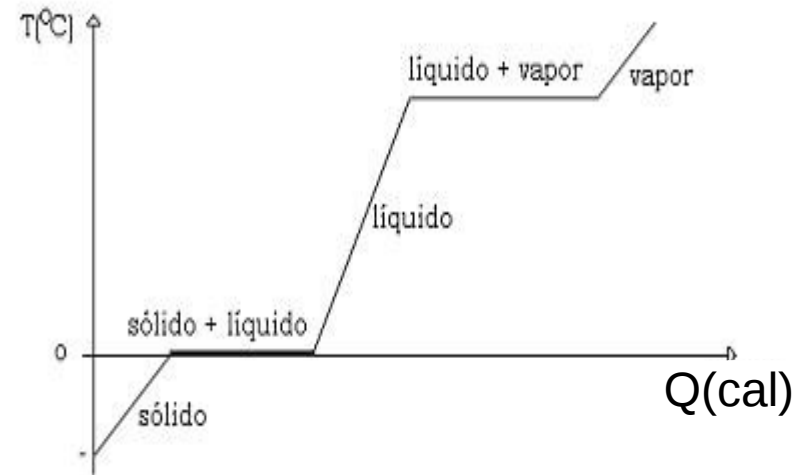
Ver tabela 17.2 (Handall)

Propriedades Térmicas da Matéria

Quais são os efeitos de uma variação da E^{term} ?

$\Delta E^{\text{term}} \rightarrow \text{Mudança de fase}$

$$Q = \pm ML$$



Calor Latente de Transformação (L):

Quantidade de energia que faz M kg de substância mudar de fase.

Exemplos

$$L_{\text{fusão da água}} = 3,33 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{K}$$

$$L_{\text{vaporização da água}} = 22,6 \cdot 10^5 \text{ J} \cdot \text{K}$$

Aula 7

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

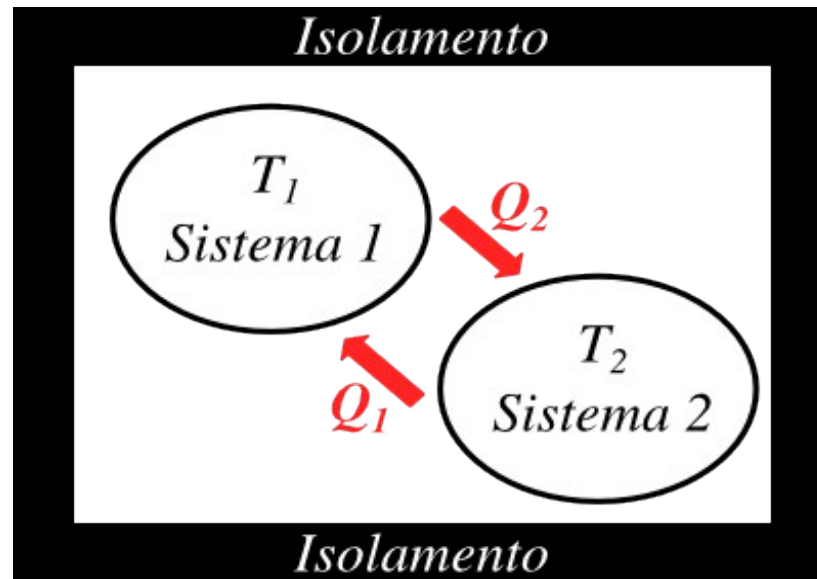
Teste Conceitual 1

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 $71,2^\circ\text{C}$.
- (D) impossível prever.

Propriedades Térmicas da Matéria

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)



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

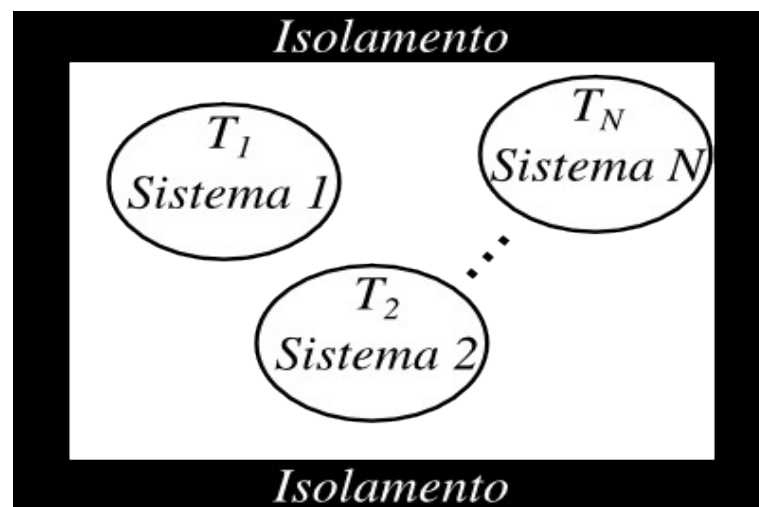
$Q_2 \rightarrow$ Qtdade de calor recebida pelo sistema 2

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

Propriedades Térmicas da Matéria

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Se houverem outros sistemas interagentes...



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

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Teste Conceitual 3

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 $71,2^\circ\text{C}$.
- (D) impossível prever

Propriedades Térmicas da Matéria

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Problema

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 $71,2^\circ\text{C}$. Qual era a temperatura real da água antes de ser medida?

Propriedades Térmicas da Matéria

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Problema

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 $71,2^\circ\text{C}$. Qual era a temperatura real da água antes de ser medida?

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?

Propriedades Térmicas da Matéria

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Problema

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 $71,2^\circ\text{C}$. Qual era a temperatura real da água antes de ser medida?

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

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Teste Conceitual

3,0 moles de O_2 a $20^\circ C$ ganha 600J em um processo isobárico e depois perde os 600J em um processo isocórico.

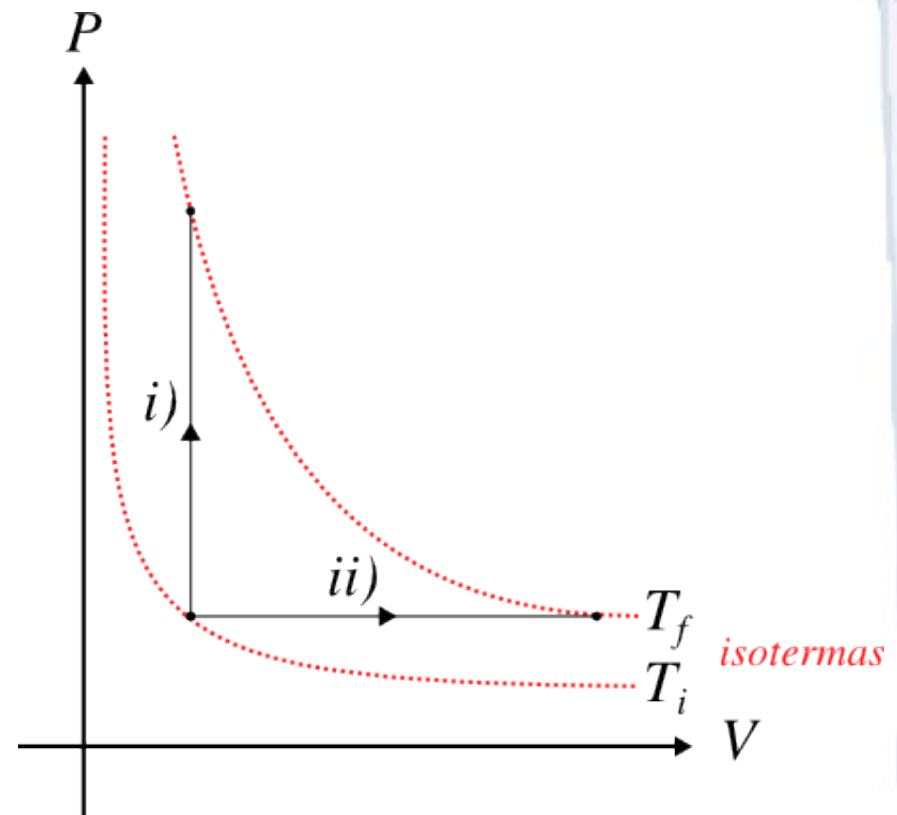
- (A) Neste processo $\Delta T = 0$.
- (B) Neste processo $\Delta T > 0$.
- (C) Neste processo $\Delta T < 0$.
- (D) Com essas informações não é possível determinar ΔT .

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Calores Específicos de gases (Depende do processo)

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

- i) Calor associado a um processo a V cte*
- ii) Calor associado a um processo a P cte*

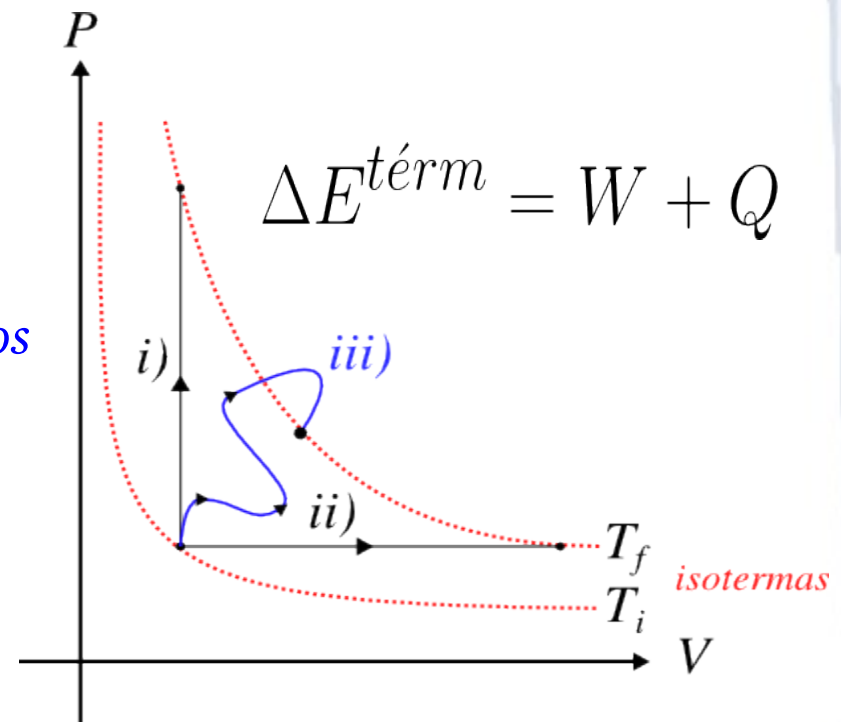


Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Calores Específicos de gases (Depende do processo)

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

Devemos utilizar a 1ª Lei da Termodinâmica nos processos em que P e V variam simultaneamente.



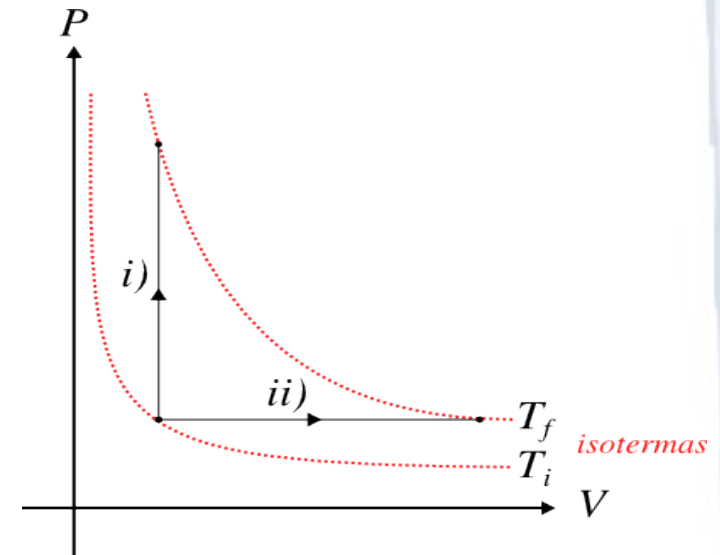
Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Calores Específicos de gases (Depende do processo)

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

Calores específicos (J/mol·K)

	c_p	c_v	$c_p - c_v$
<i>Gases monoatômicos</i>	$\sim 20,8$	$\sim 12,5$	$\sim 8,3$
<i>Gases diatômicos</i>	$\sim 29,1$	$\sim 20,8$	$\sim 8,3$



Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Problema

3,0 moles de O_2 a $20^\circ C$ ganha 600J em um processo isobárico e depois perde os 600J em um processo isocórico. Qto vale a T final?

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Sistemas em contato térmico (Calorimetria)

Teste Conceitual

3,0 moles de O_2 a $20^\circ C$ ganha 600J em um processo isobárico e depois perde os 600J em um processo isocórico.

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

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Relações entre c_p e c_v

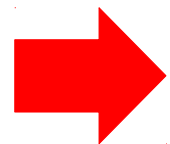
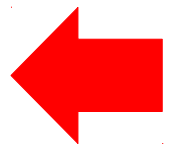
Para os gases ideais (somente para eles!)

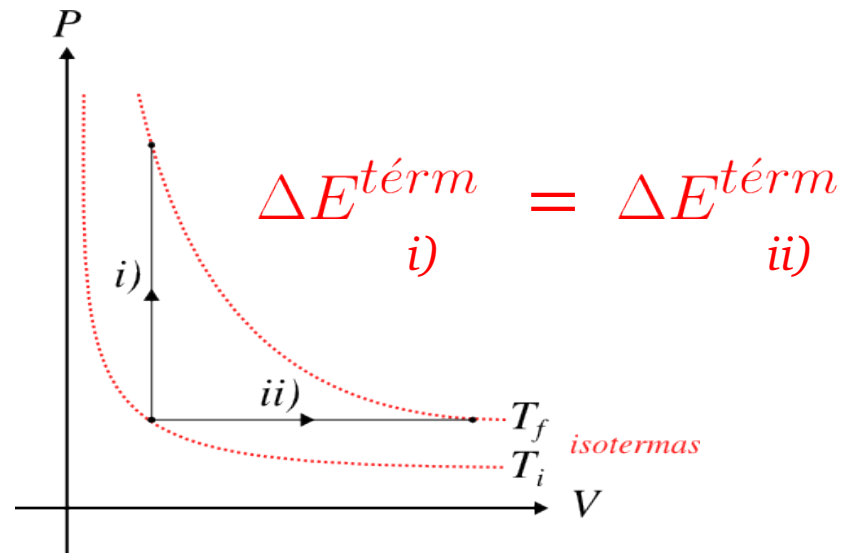
$$\Delta E_{\text{gás}}^{\text{térm}} \propto \Delta T$$

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Relações entre c_p e c_v

Para os gases ideais (**somente para eles!**)


$$\Delta E_{\text{gás}}^{\text{térm}} \propto \Delta T$$




Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

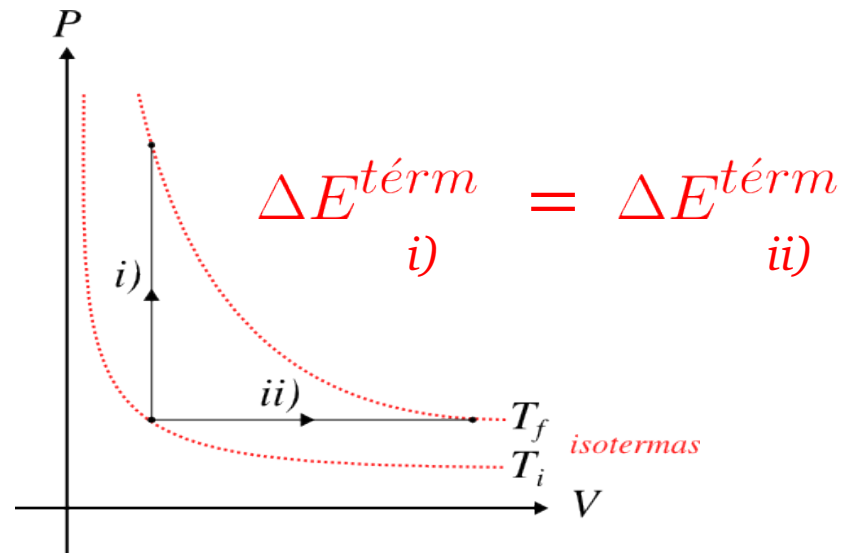
Relações entre c_p e c_v

Para os gases ideais (**somente para eles!**)

$$\Delta E_{\text{gás}}^{\text{térm}} \propto \Delta T$$

$\Delta E_{\text{gás}}^{\text{térm}}$ é a mesma para quaisquer processos que envolvam a mesma variação de temperatura.

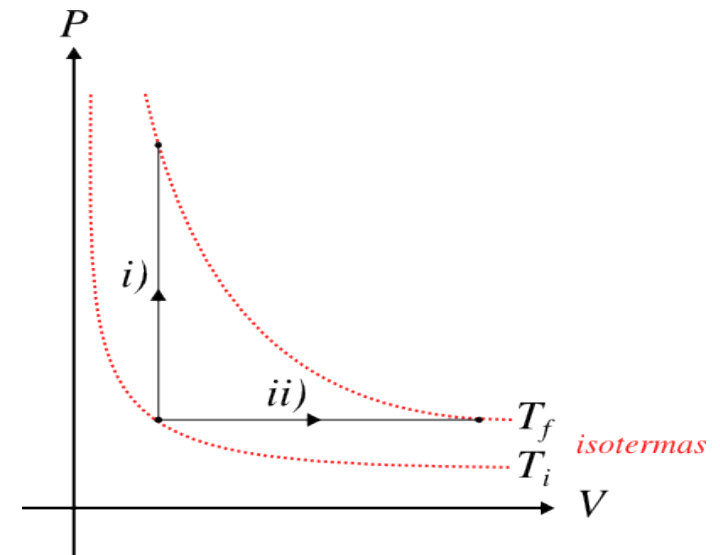
Toda a energia é igualmente distribuída no **modos de translação das partículas**.



Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Relações entre c_p e c_v

Para os gases ideais (**somente para eles!**)



→ Se $\Delta E_{\text{gás}}^{\text{térm}}$ é a mesma para quaisquer processos que envolvam a mesma variação de temperatura, e

→ Se no processo isocórico $\Delta E^{\text{térm}} = \cancel{W} + Q = n c_v \Delta T$

$$\Rightarrow \Delta E_{\text{gás}}^{\text{térm}} = n c_v \Delta T$$

Para qq
processo!

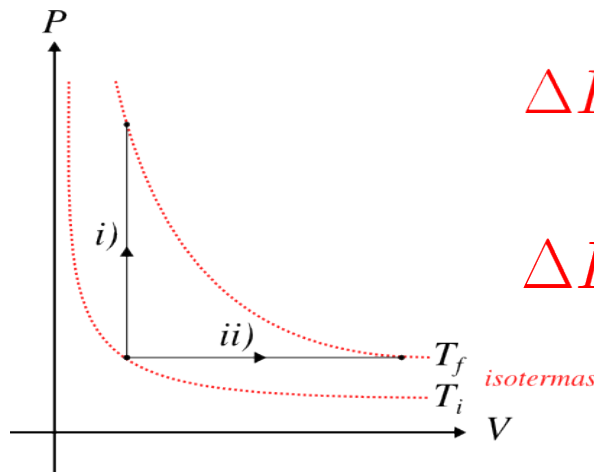
Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Relações entre c_p e c_v

Considerando um processo isobárico $\rightarrow W = -P_0\Delta V$

$$\Delta E^{tér\text{m}} = Q + W = nc_p\Delta T - P_0\Delta V$$

como ΔT é a mesma em ambos os processos,



$$\Delta E^{tér\text{m}}_{i)} = \Delta E^{tér\text{m}}_{ii)}$$

$$\Delta E^{tér\text{m}}_{gás} = nc_v\Delta T \quad (\text{Para qq processo!})$$

$$nc_v\Delta T = nc_p\Delta T - P_0\Delta V$$

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Relações entre c_p e c_v

$$nc_v\Delta T = nc_p\Delta T - P_0\Delta V$$



$$P_0\Delta V = n(c_p - c_v)\Delta T$$

Lembrando que estamos tratando de um processo isobárico em um gás ideal $\rightarrow PV = nRT$

$$P_0\Delta V = nR\Delta T$$

De forma que: $nR\Delta T = n(c_p - c_v)\Delta T$

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Relações entre c_p e c_v

$$nc_v\Delta T = nc_p\Delta T - P_0\Delta V$$



$$P_0\Delta V = n(c_p - c_v)\Delta T$$

Lembrando que estamos tratando de um processo isobárico em um gás ideal $\rightarrow PV = nRT$

$$P_0\Delta V = nR\Delta T$$

De forma que: ~~$nR\Delta T = n(c_p - c_v)\Delta T$~~

$$R = c_p - c_v$$

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Relações entre c_p e c_v

$$R = c_p - c_v = 8,314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

R é a constante universal dos gases perfeitos.

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Relações entre c_p e c_v

Nota: A ΔT depende do processo

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

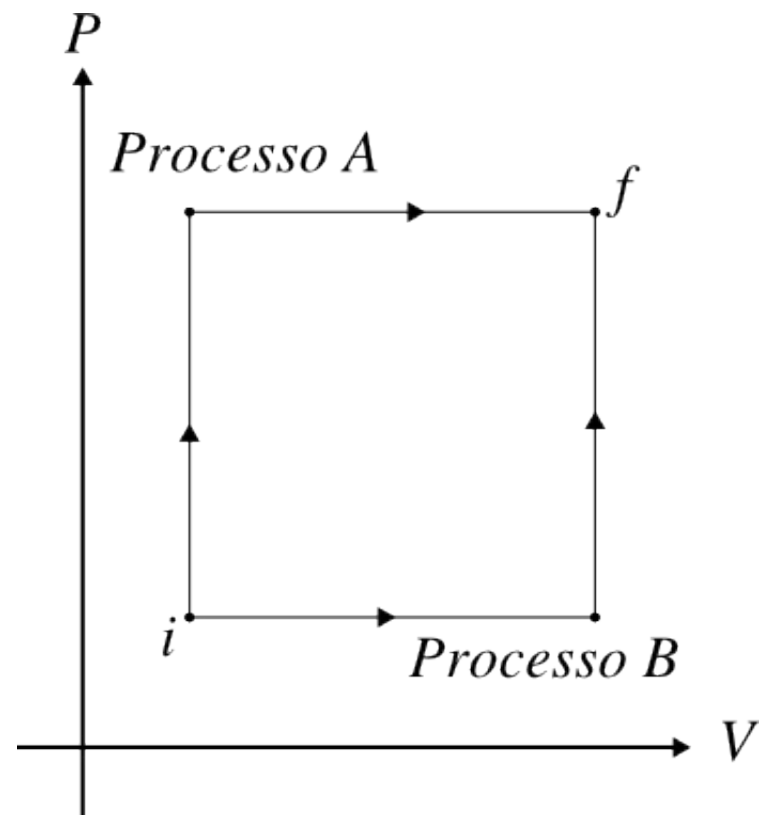
Quanto maior c_i , menor é a ΔT para um mesmo calor.

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Teste Conceitual

Com relação ao processo ao lado:

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



Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Teste Conceitual

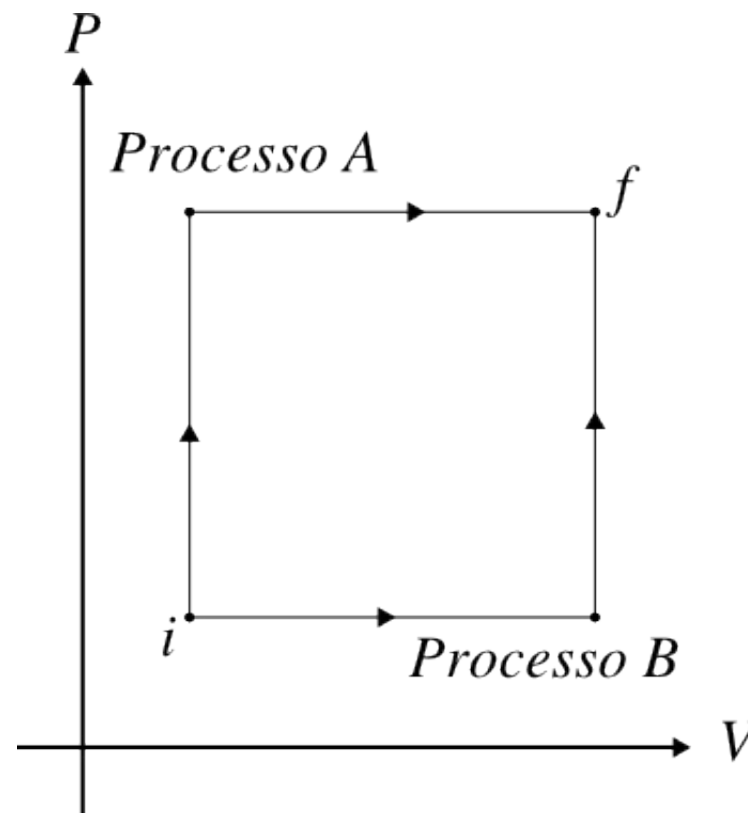
Com relação ao processo ao lado:

(A) $Q_A > Q_B$

(B) $Q_A < Q_B$

(C) $Q_A = Q_B$

(D) $Q_A \geq Q_B$



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**

TC - 1

Um pedaço de gelo ($T = -20^{\circ}\text{C}$) é adicionado a um recipiente termicamente isolado com água fria ($T = 0^{\circ}\text{C}$). O que acontece no recipiente?

- A) O gelo derrete até que o equilíbrio térmico seja estabelecido.
- B) A água resfria até que o equilíbrio térmico seja estabelecido.
- C) Parte da água congela e o pedaço de gelo se torna maior.
- D) Nenhuma das coisas acima acontece.

TC - 1

Um pedaço de gelo ($T = -20^{\circ}\text{C}$) é adicionado a um recipiente termicamente isolado com água fria ($T = 0^{\circ}\text{C}$). O que acontece no recipiente?

- A) O gelo derrete até que o equilíbrio térmico seja estabelecido.
- B) A água resfria até que o equilíbrio térmico seja estabelecido.
- C) Parte da água congela e o pedaço de gelo se torna maior.**
- D) Nenhuma das coisas acima acontece.

TC - 2

Suponha que você seja um astronauta no espaço, trabalhando duro no seu traje espacial lacrado. A única maneira de você transferir calor para a vizinhança é por

- (A) Condução
- (B) Convecção
- (C) Irradiação
- (D) Evaporação

TC - 2

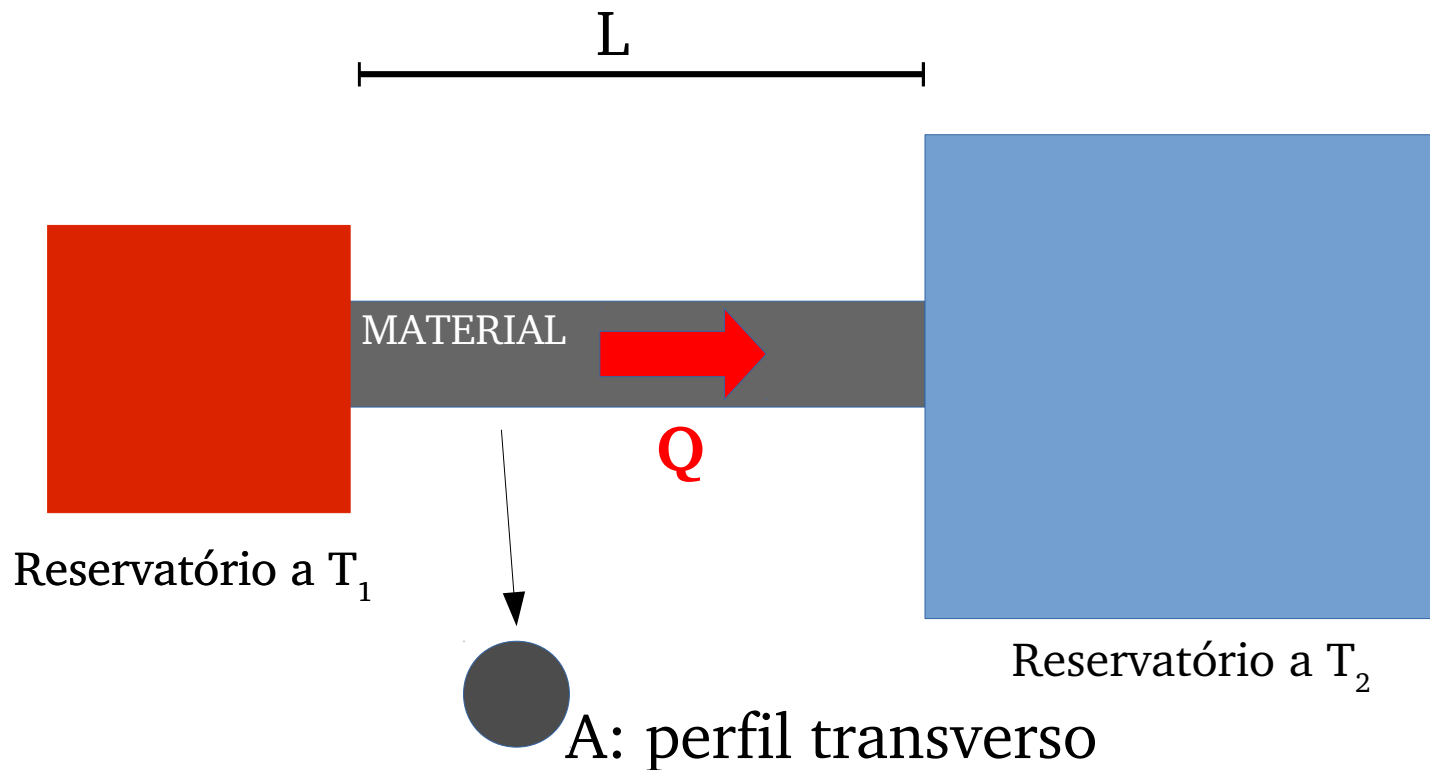
Suponha que você seja um astronauta no espaço, trabalhando duro no seu traje espacial lacrado. A única maneira de você transferir calor para a vizinhança é por

- (A) Condução
- (B) Convecção
- (C) Irradiação**
- (D) Evaporação

Mecanismos de transferência de Calor

- **Condução**

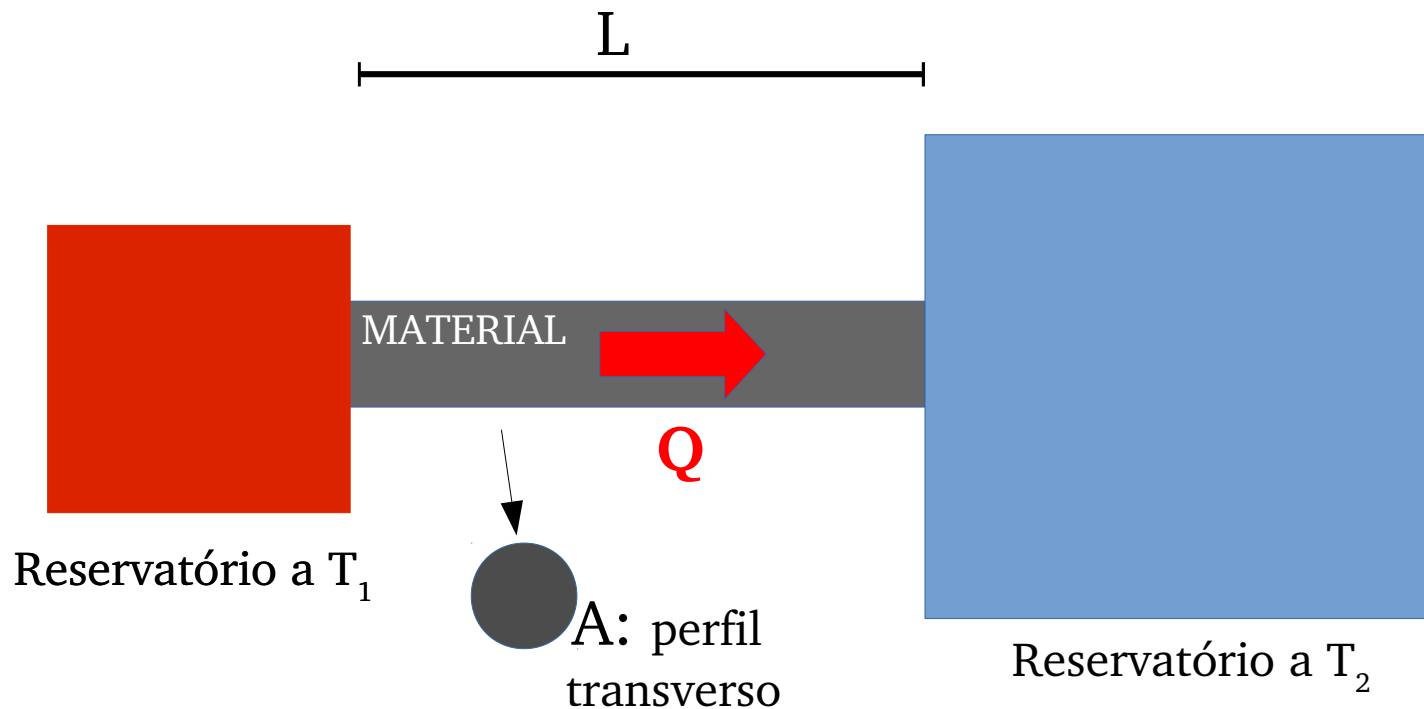
Na Condução a transferência de calor através de um meio material (**sem transporte de massa**) devido a uma ΔT .



Mecanismos de transferência de Calor

- **Condução**

Na Condução a transferência de calor através de um meio material (**sem transporte de massa**) devido a uma ΔT .



$$fluxo = \frac{Q}{\Delta t} = k \frac{A}{L} \Delta T \quad \text{Fórmula Empírica}$$

Fluxo de transferência de energia térmica

Mecanismos de transferência de Calor

- Convecção

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



O ar/fluido é um péssimo condutor de calor, porém ele transmite facilmente a energia térmica por convecção.

Mecanismos de transferência de Calor

- **Convecção**

Na convecção a transferência de calor através de um meio material (com transporte de massa) devido a uma ΔT . Ocorre somente nos fluidos!

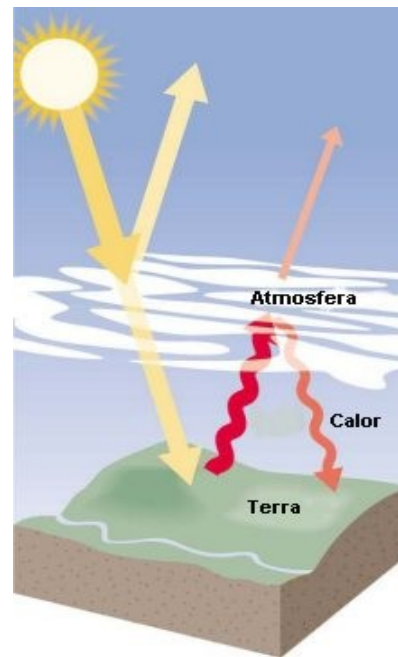


Os fluidos não são bons condutores de calor, porém são bem eficiente na transmissão de energia...

Mecanismos de transferência de Calor

- **Irradiação**

Na irradiação a transferência de calor através das ondas eletromagnéticas (luz).
Não há necessidade de meios materiais!

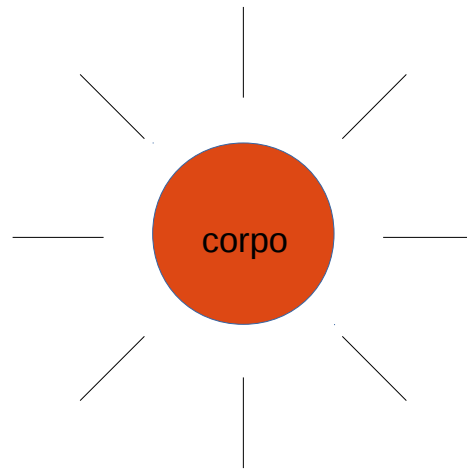


O que é o efeito estufa?

Mecanismos de transferência de Calor

- Irradiação

Na irradiação a transferência de calor através das ondas eletromagnéticas (luz).
Não há necessidade de meios materiais!



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

e – emissividade (Depende do material)

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

TC - 3

A garrafa térmica funciona bem porque

- (A) suas paredes de vidro são finas.
- (B) a superfície espelhada, dentro da garrafa, reduz a convecção.
- (C) vácuo reduz a radiação de calor.
- (D) nenhuma das respostas acima.

TC - 3

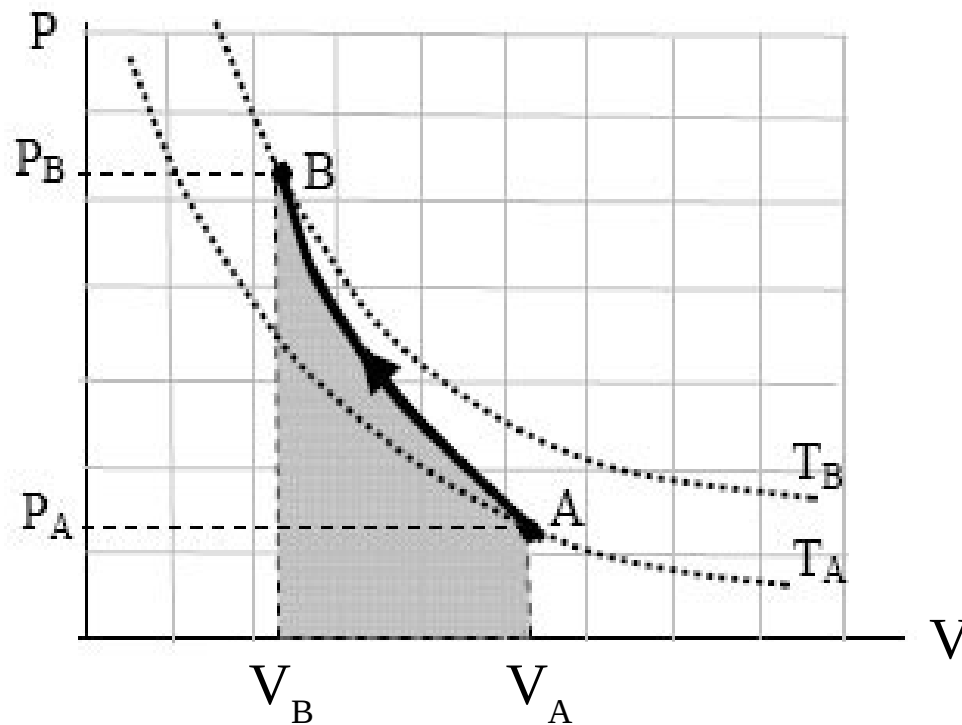
A garrafa térmica funciona bem porque

- (A) suas paredes de vidro são finas.
- (B) a superfície espelhada, dentro da garrafa, reduz a convecção.
- (C) vácuo reduz a radiação de calor.
- (D) nenhuma das respostas acima.**

Propriedades Térmicas da Matéria: Gases

Processos adiabáticos ($Q=0$)

Processos onde não há troca de calor



$$PV^\gamma = P_0 V_0^\gamma$$
$$\Updownarrow$$
$$TV^{\gamma-1} = T_0 V_0^{\gamma-1}$$

Problema:

120 mg de Hélio sofre o processo cíclico abaixo.

- A) Determine P, V e T em 1, 2 e 3
- B) Determine os trabalhos em cada um dos trechos
- C) Determine os calores em cada um dos trechos

