

A Seta do Tempo

e a

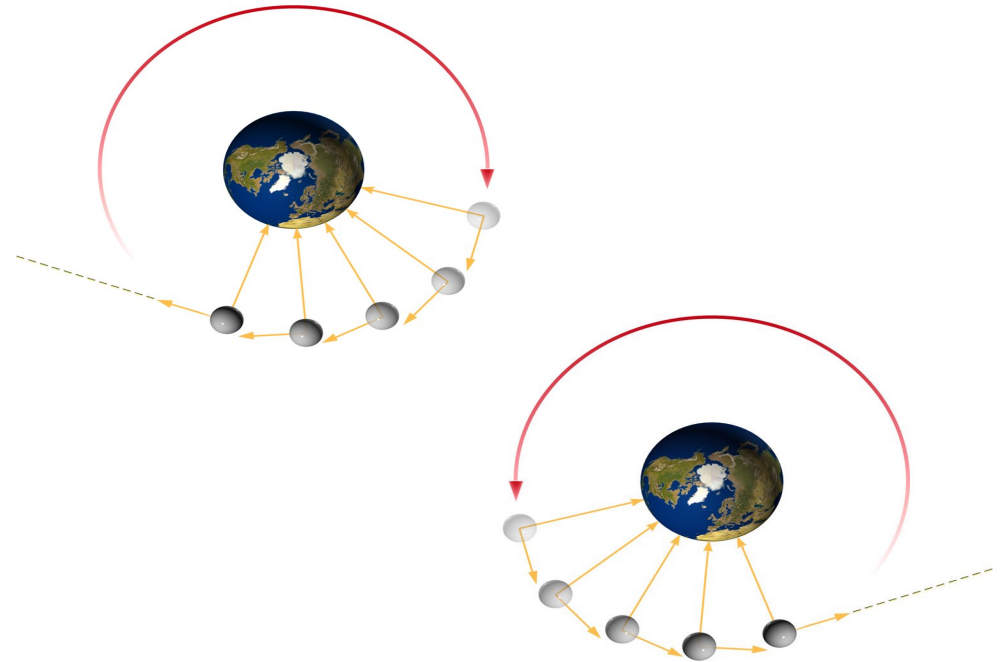
2^a Lei da Termodinâmica

A seta do tempo

- Os fenômenos à nossa volta são irreversíveis



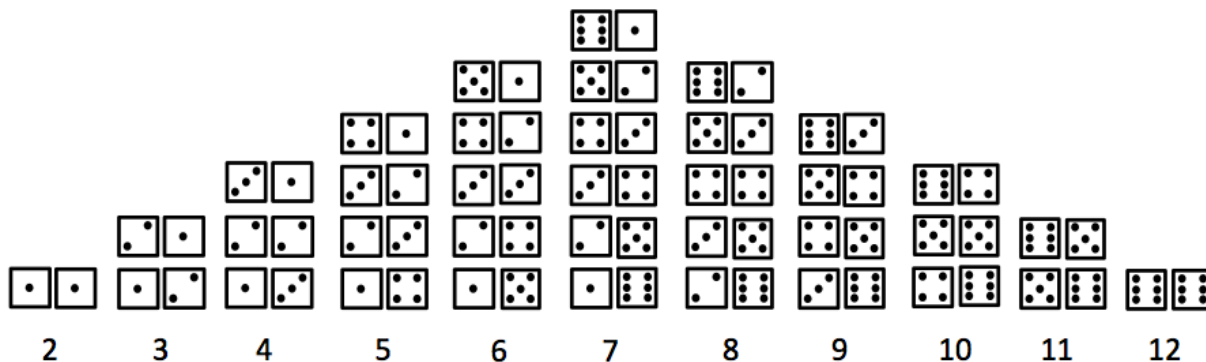
- No entanto, as leis fundamentais da Física são reversíveis.



A seta do tempo

- Por que os fenômenos a nossa volta são irreversíveis?
- Por que essa irreversibilidade não aparece em sistemas “pequenos” (com poucas partículas)?

Jogo de Dados - Macroestado e Microestado



Microestados: equiprováveis

10



Macroestados: não-equiprováveis

Cara ou Coroa - Sistema de dois estado.



50%

50%

Moeda 1	Moeda 2	Probabilidade dos Microestados	Probabilidade dos Macroestados
Cara	Cara	$1/4$	$1/4$
Cara	Coroa	$1/4$	$1/4 + 1/4 = 1/2$
Coroa	Cara	$1/4$	
Coroa	Coroa	$1/4$	$1/4$

Multiplicidade (Ω)

Um modelo de gás ideal

Macroestado



Microestados



$$\Omega = 4$$

Multiplicidade (Ω)

Cara e coroa e a analogia com o gás ideal.

$$N = 1$$



$$\Omega = 1$$



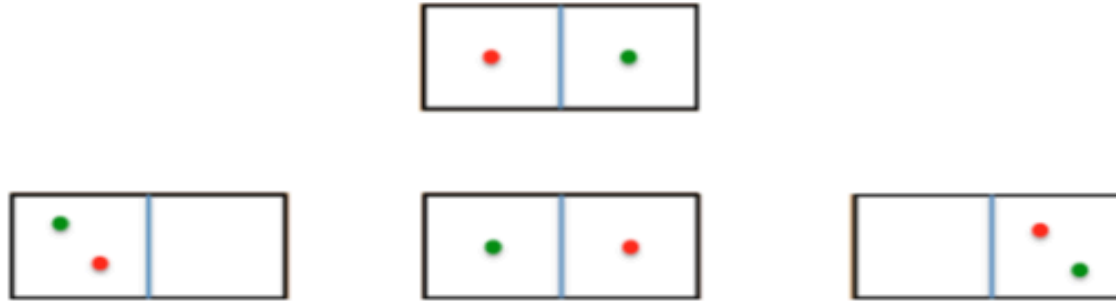
$$\Omega = 1$$

Multiplicidade

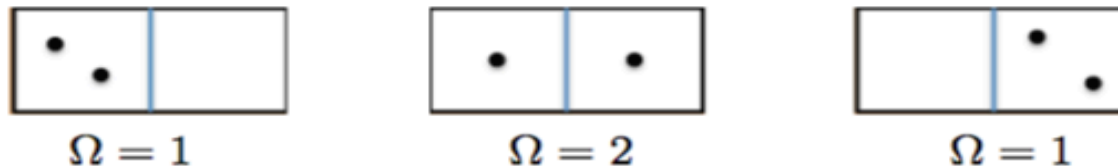
Gás ideal com duas partículas:

$$N = 2$$

Microestados:



Macroestados:

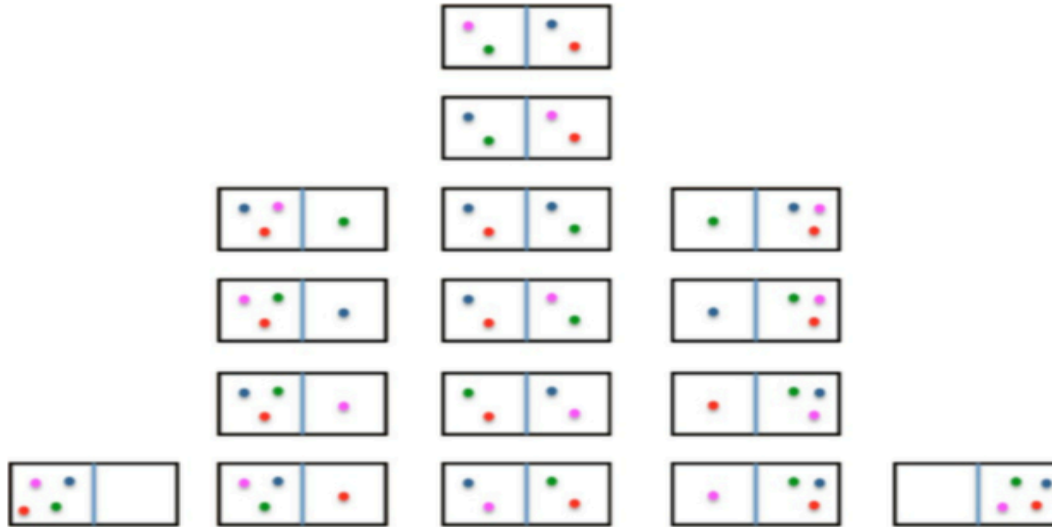


Multiplicidade

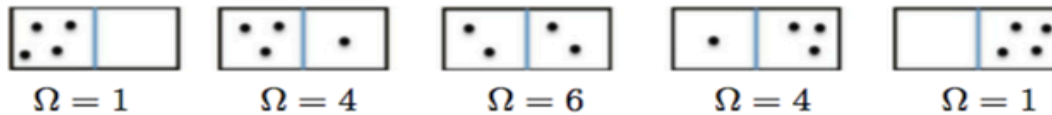
Gás ideal com quatro partículas:

$$N = 4$$

Microestados:

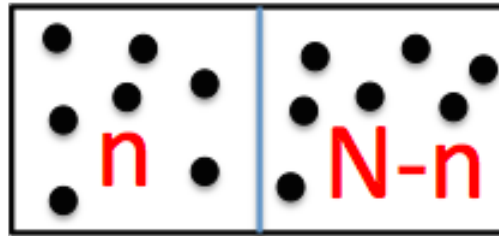


Macroestados:



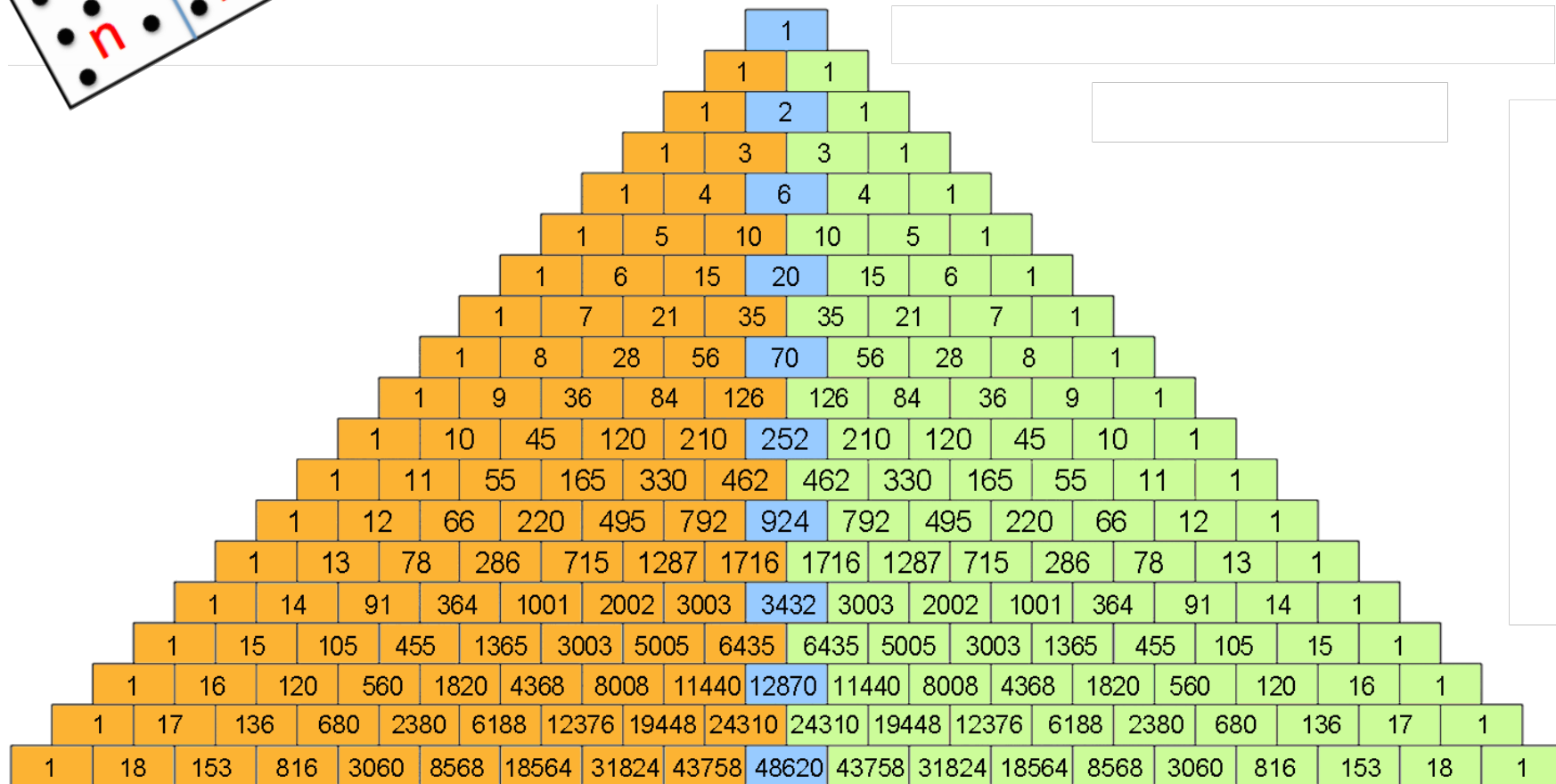
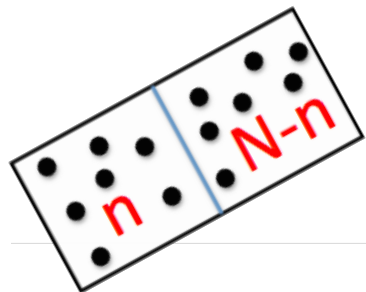
Multiplicidade

Gás ideal com N partículas:



$$\Omega(N, n) = \frac{N!}{n!(N - n)!}$$

Multiplicidade



Com grande número de partículas:

- Situações em que o número de partículas em uma das metades é muito maior que o da outra metade são altamente improváveis;
- Situações em que as partículas são distribuídas quase igualmente entre as duas metades do recipiente são muito mais prováveis que quaisquer outras.
- Para um número de partículas grande, da ordem de 10^{23} , a imensa maioria (na verdade, a quase totalidade) dos microestados acessíveis correspondem à uma distribuição praticamente homogênea de partículas pelo recipiente.

A origem da irreversibilidade

Muitíssimo provável: baixa multiplicidade \longrightarrow alta multiplicidade.

Pouquíssimo provável: alta multiplicidade \longrightarrow baixa multiplicidade.

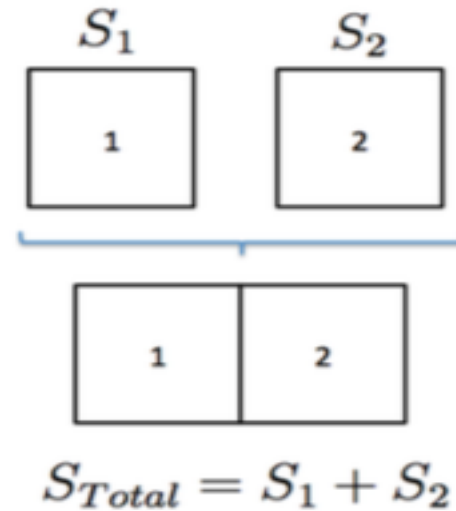
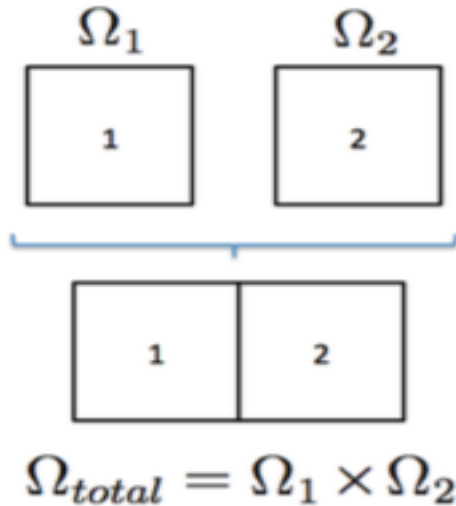


“O sistema de partículas sempre evolui de um estado improvável para um estado provável” (L. Boltzmann*)

*L. Boltzmann, Wien. Ber., v. 76, p. 373-435 (1877), tradução para o inglês de K. Sharp e F. Matschinsky, Entropy, v. 17, p. 1971 (2015).

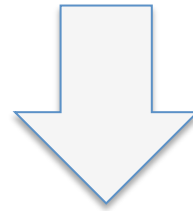
Multiplicidade e Entropia

Entropia: $S = k \ln \Omega$



A Segunda Lei da Termodinâmica

Um sistema tende a evoluir a um estado de máxima multiplicidade (estado de equilíbrio).



$$S = k \ln \Omega$$

A entropia de um sistema isolado nunca diminui!

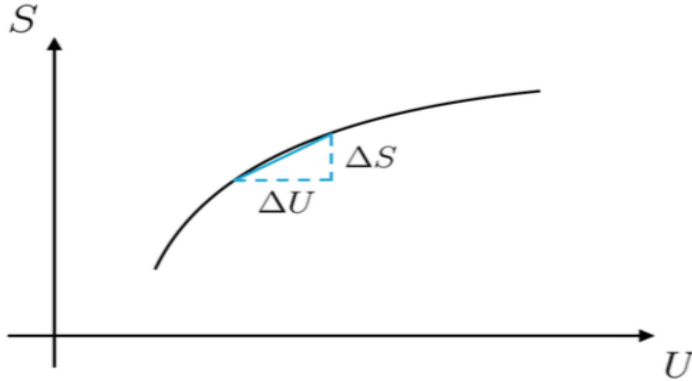
$$\Delta S_{Total} > 0$$

processo reversível

$$\Delta S_{Total} = 0$$

processo reversível

Entropia, Energia e Temperatura



$$\frac{1}{T} = \frac{\Delta S}{\Delta U}$$

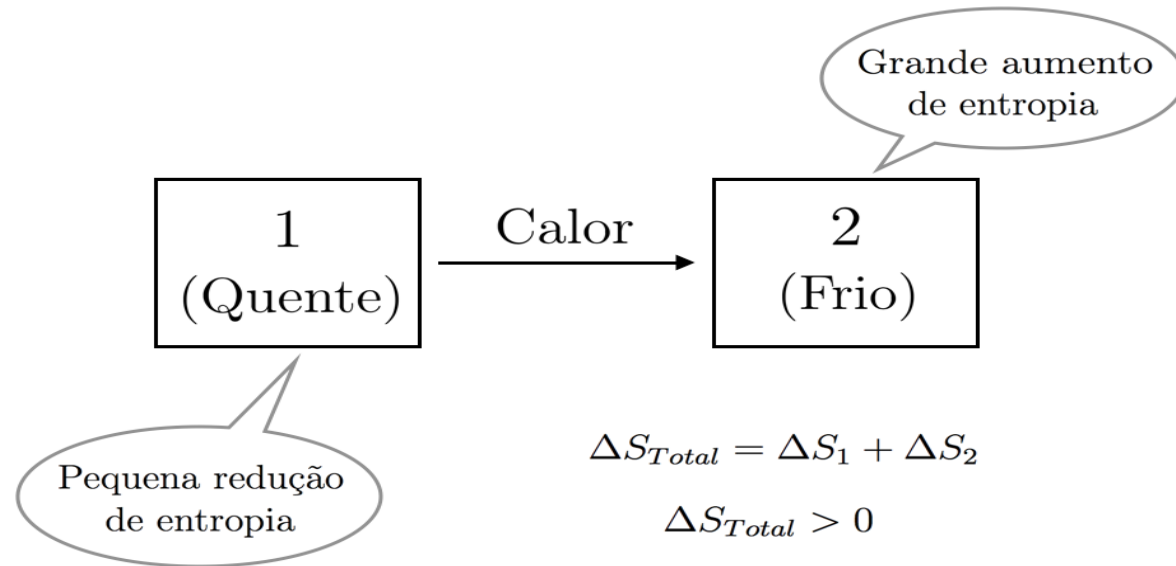
N e V constantes

Para uma mesma variação de energia:

- pequenas variações de entropia em altas temperaturas;
- grandes variações de entropia em baixas temperaturas.

Entropia, Energia e Temperatura

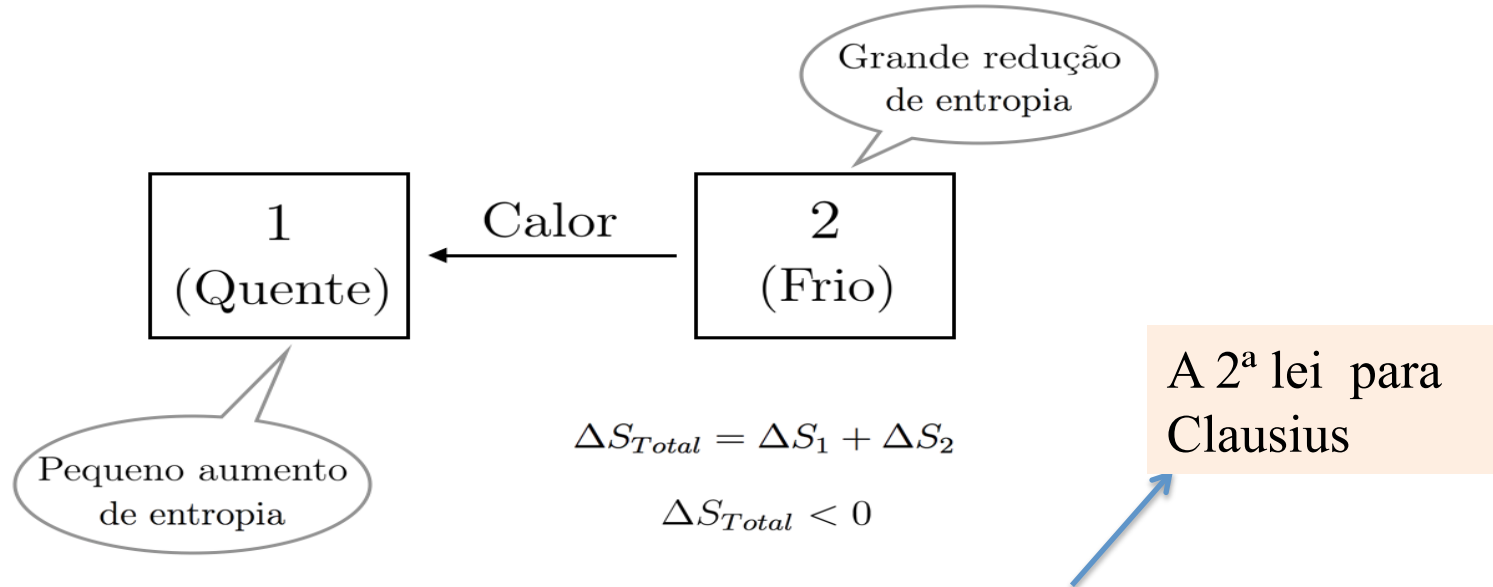
Sentido do fluxo de calor



A entropia total do sistema aumenta quando o calor flui de um corpo quente para um corpo frio.

Entropia, Energia e Temperatura

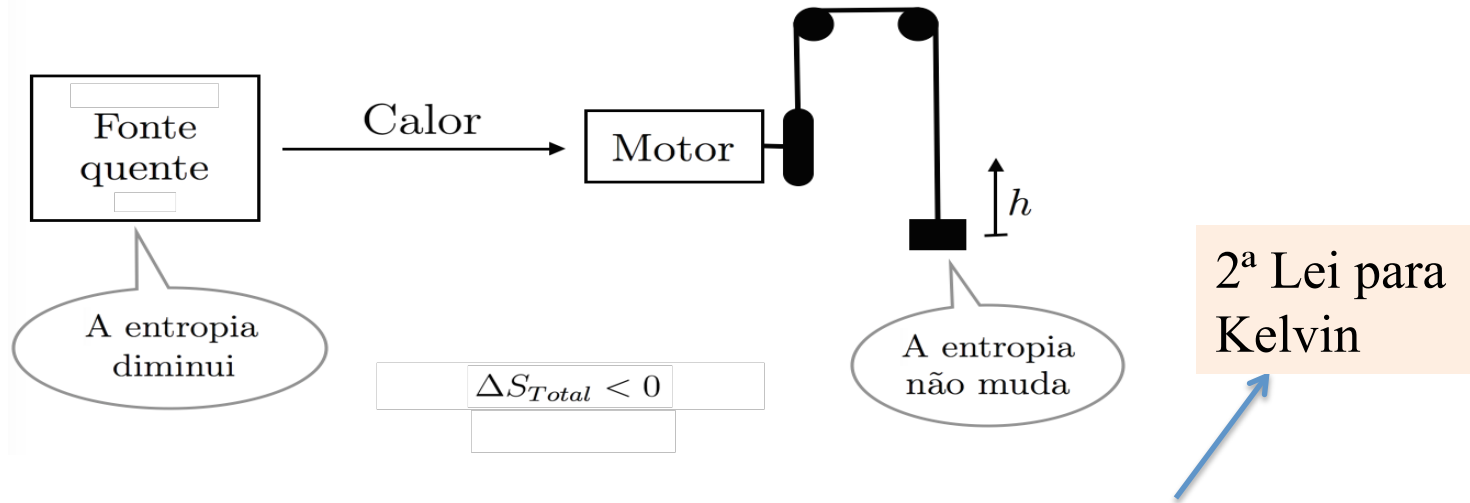
Sentido do fluxo de calor



É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente.

Máquinas Térmicas

A máquina perfeita é possível?



É impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho.

Máquinas Térmicas

A máquina térmica possível

