



Escola de Artes, Ciências e Humanidades
da Universidade de São Paulo

ACH1014 Fundamentos de Física

Segunda lei da termodinâmica

Docente: Patricia Targon Campana

pcampana@usp.br

2013

Segunda lei da termodinâmica

Entropia

Máquinas térmicas

Entropia e o universo

Energia: pode ser distribuída por diferentes modos

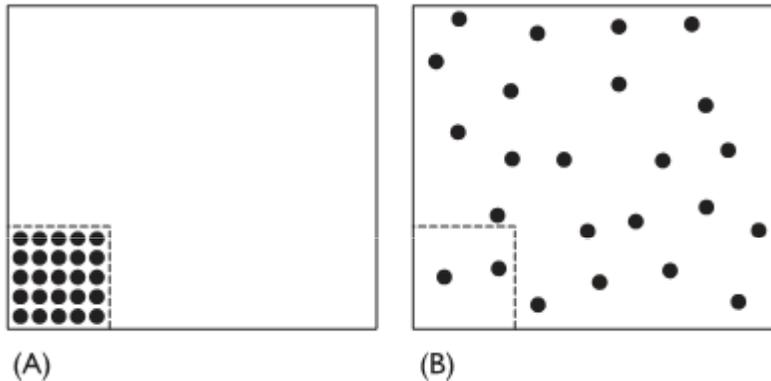
O quão abrangente pode ser este número de modos?



entropia

Exemplo: Difusão

Tendência de ir do mais concentrado para o menos concentrado
(valendo tanto para massa quanto para energia)



Se $\Delta U = 0$

Espontâneo e irreversível

Processo governado pela 2ª Lei

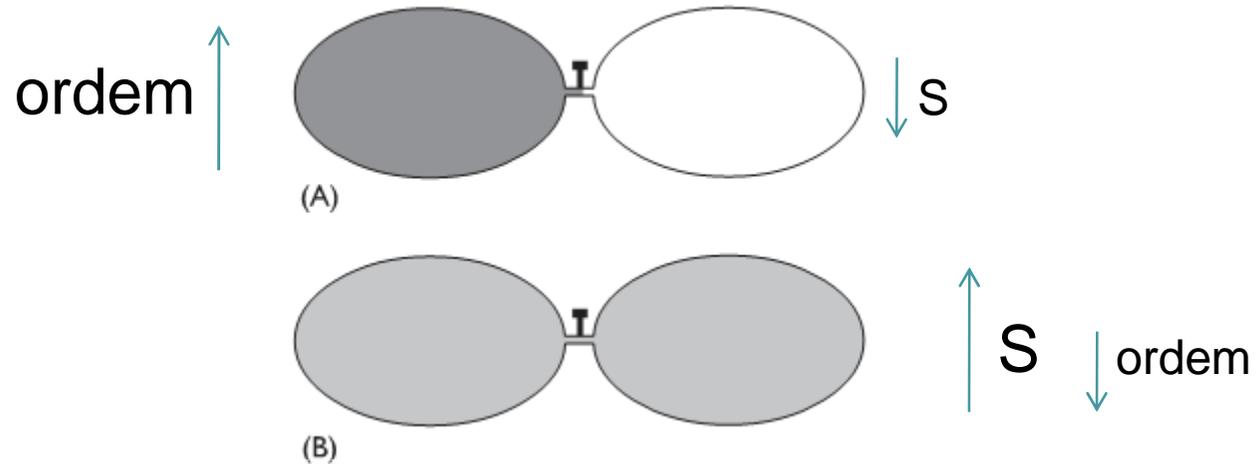
Entropia

Mede a tendência de um sistema a mudar espontaneamente

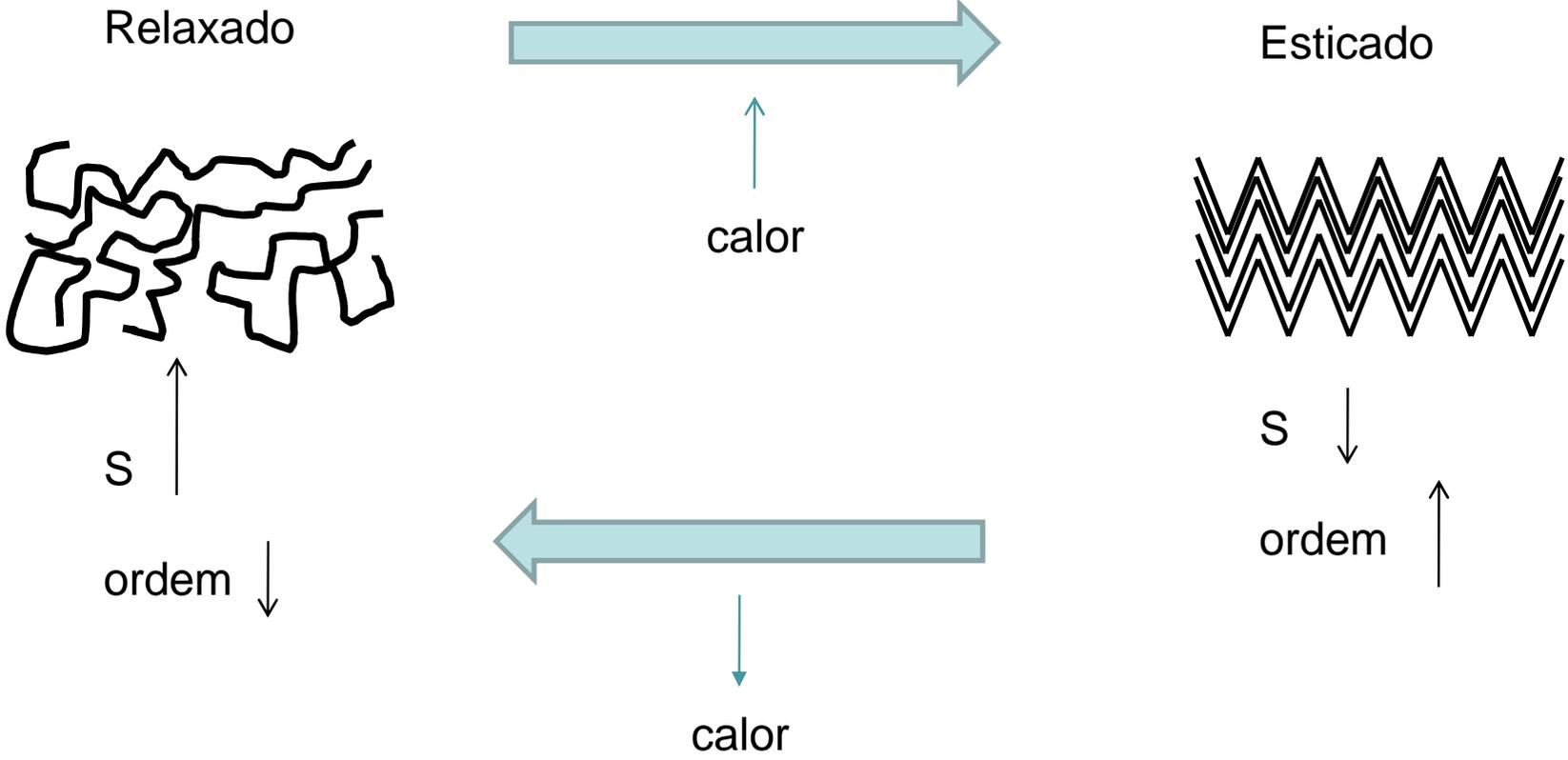
a “ordem” de um sistema

É a chave para entender o processo de transformação

Tendência de ir para uma condição na qual não haverá mais mudanças



Irreversível, pois, teríamos que realizar uma grande quantidade de w para colocar o gás de volta em (A)



Borracha
Músculos

$$\Delta S \propto q/T$$

$$\Delta S \geq q/T$$

Relação de S e q e nos dá o máximo de w que se obtém de uma máquina ideal reversível

Examinando uma **máquina térmica ideal**

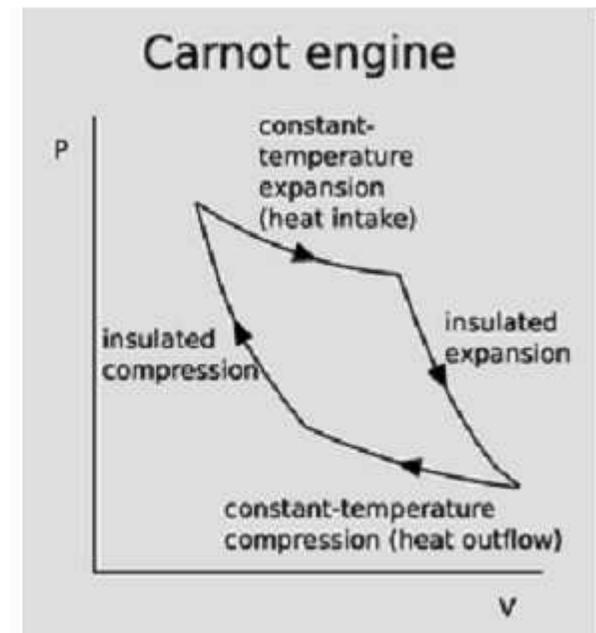
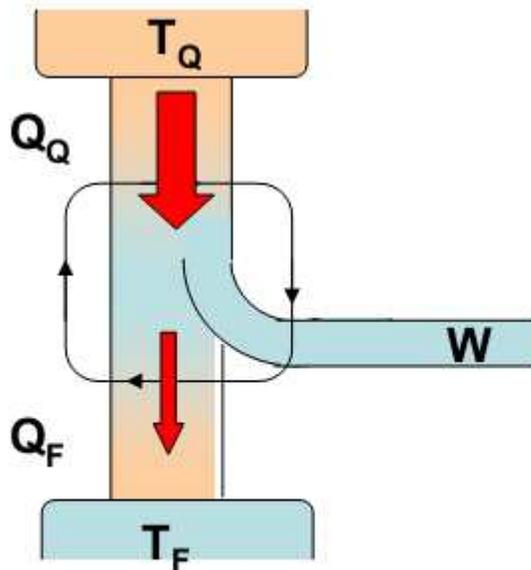


Todos os processos são reversíveis e não há perdas por atrito



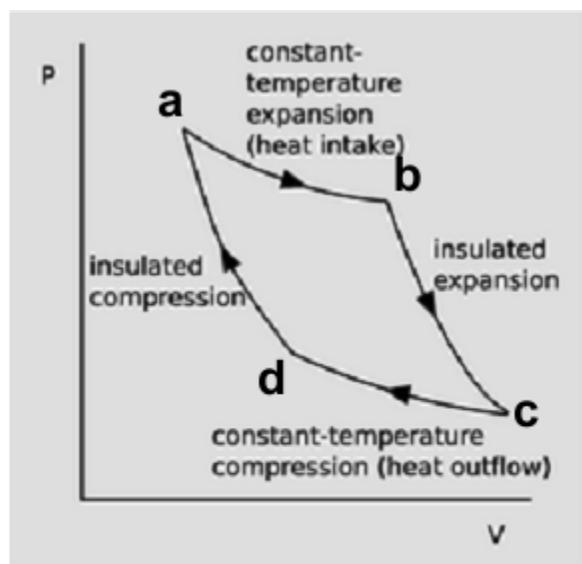
A máquina de Carnot (1824)

utiliza o calor com a maior eficiência para realização de trabalho



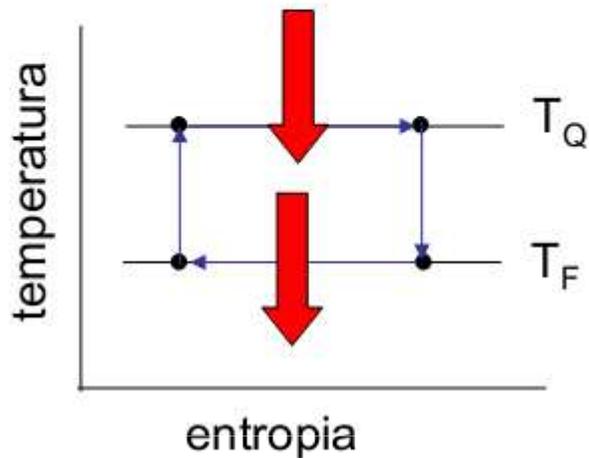
Fonte quente \longrightarrow calor \longrightarrow substância de trabalho **ab**
expansão

substância de trabalho \longrightarrow calor \longrightarrow Fonte fria **cd**
compressão



Transformações de energia envolvem variações de entropia

Na máquina de Carnot, que está isolada



Usando a primeira Lei para calcular o W

$$\Delta E = Q - W$$

$$\Delta E = 0 \text{ no ciclo}$$

$$W = \Delta Q$$

$$W = Q_Q - Q_F$$

Pela segunda Lei $\longrightarrow \Delta S_{\text{gas}} = (- \text{ ou } +) Q/T$

$$\text{Assim, } \Delta S_{\text{gas}} = Q_Q/T_Q - Q_F/T_F$$

Neste caso $\Delta S = 0$ $Q_Q/T_Q = Q_F/T_F$

$$\text{Eficiência: } \frac{\text{energia utilizada}}{\text{energia adquirida}} = \frac{W}{Q_Q} = 1 - Q_F/Q_Q$$

ou,

$$W_{\max} = q_{\text{transf}} \left(1 - T_{\text{frio}}/T_{\text{quente}} \right)$$

No processo irreversível:

$$S_{\text{irrevers}} = q_{\text{perdido}}/T_{\text{frio}}$$

Quando o processo é endotérmico:

$q_{\text{extra_viz}} \gg$ quando o processo é reversível

Exotérmico

$q_{\text{liberado_viz}} \ll$ quando o processo é reversível

Nos seres vivos: a maioria dos processos é irreversível

$q_{\text{liberado_viz}} \gg$

E dos alimentos para manter a temperatura

Entropia do Universo

Reações entropicamente desfavoráveis ocorrem...

MAS não espontaneamente!

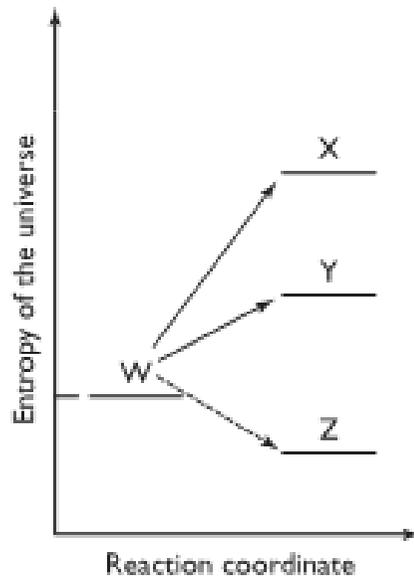


Table 3.1. Comparison of the “orderliness” of different types of energy

Form of energy	Entropy per unit energy
Nuclear reactions	10^{-6}
Internal heat of stars	10^{-3}
Sunlight	1
Chemical reactions	1–10
Terrestrial waste heat	10–100

Note how the entropy of a given amount of energy increases as it is transformed from a nuclear reaction to the heat given off by biological organisms on the surface of Earth.