Física do calor

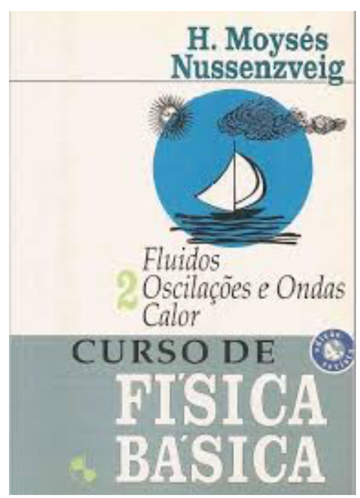
F.S. Navarra

navarra@if.usp.br

edisciplinas.if.usp.br

Capítulo 12

Noções de Mecânica Estatística



Entropia e estatística

Definição: $$dS = \frac{dQ}{T}$$

Para um sistema isolado: $$\Delta S \geq 0$$

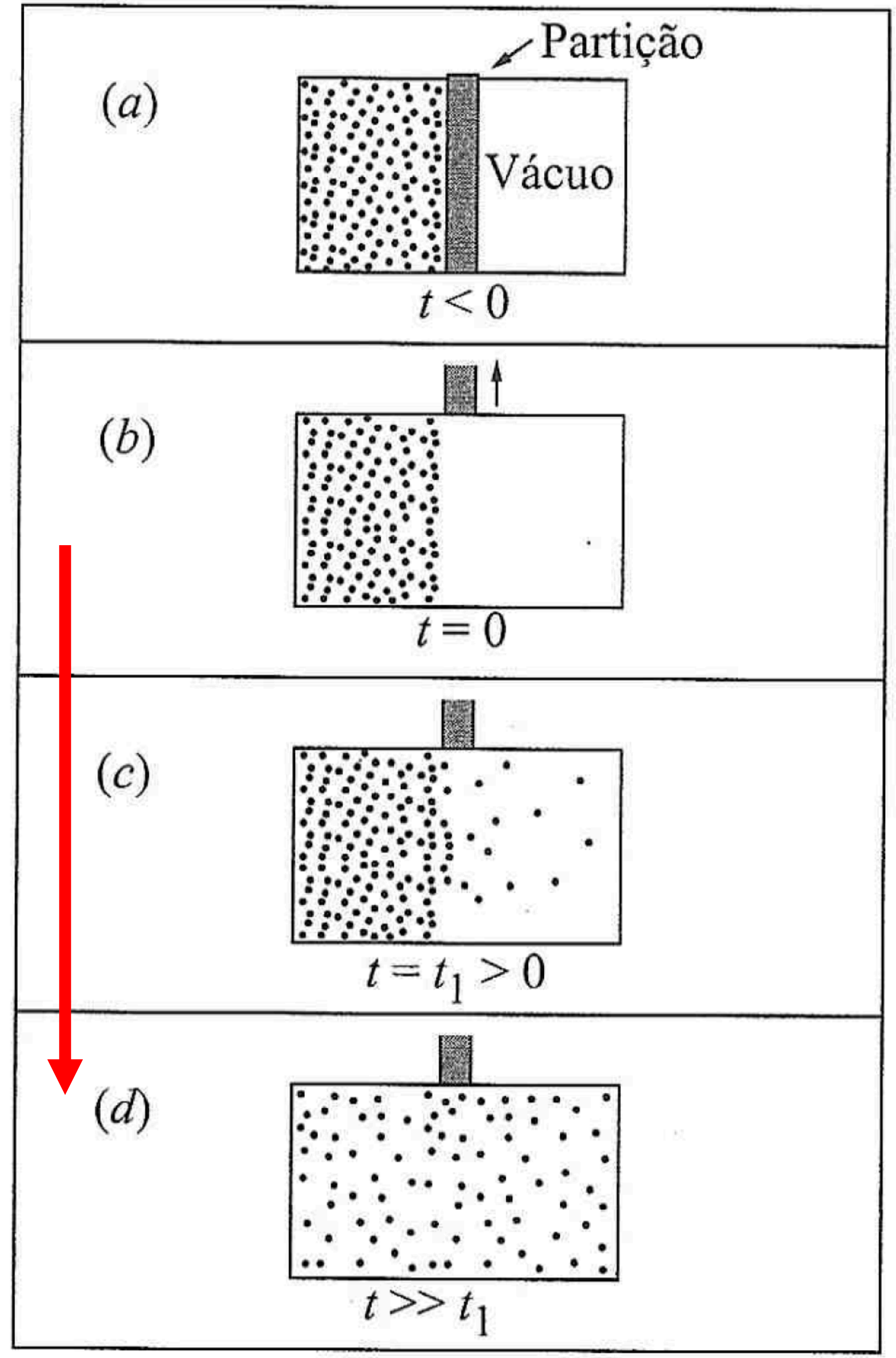
Para um processo irreversível a entropia aumenta !

O que isto significa numa visão microscópica ?

Processo irreversível:
visão microscópica

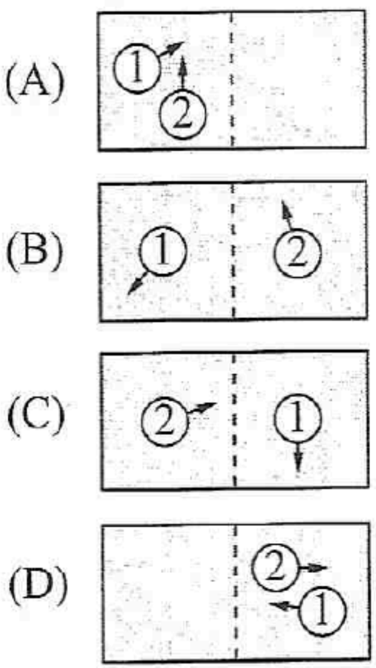
O sistema vai para o macroestado com maior número de microestados

O sistema vai para a configuração de maior entropia



Macroestados e microestados

Exemplo simples: "gás" de duas partículas

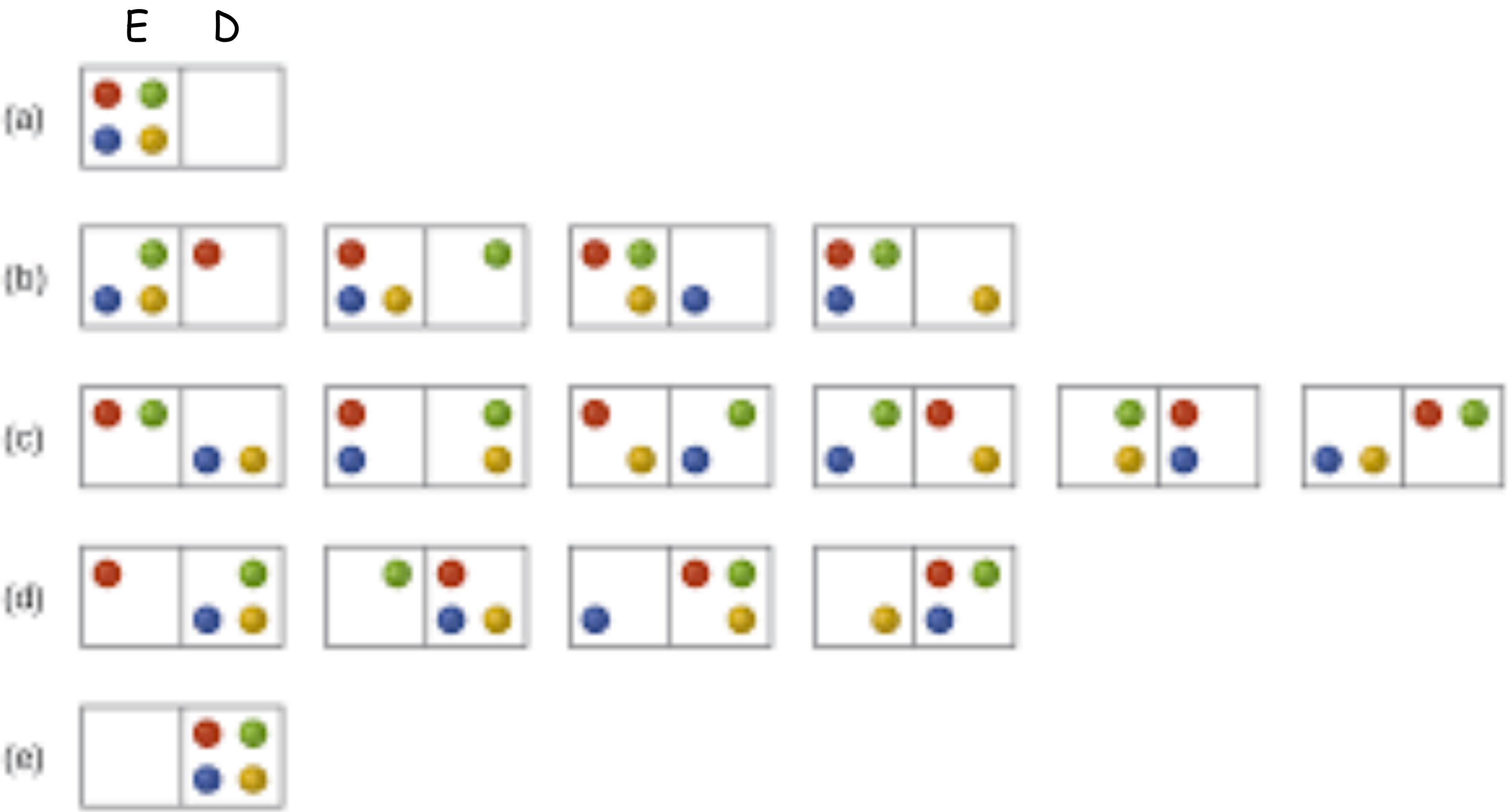


$N = 2$						
Configuração	Molécula 1	Molécula 2	n_E	n_D	N.º de estados	Probabilidade
(A)	E	E	2	0	1	1/4
(B)	E	D	1	1	2	1/2
(C)	D	E				
(D)	D	D	0	2	1	1/4
Totais					4	1

B e C são dois microestados que correspondem ao mesmo macroestado

Ele é mais provável porque pode acontecer de mais maneiras

Exemplo simples: "gás" de quatro partículas



Combinação

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

Probabilidade

$$P(n_E, n_D) = \binom{N}{n_E}\left(\frac{1}{2}\right)^N$$

Exemplo simples: "gás" de quatro partículas

microestados macroestados

Molécula 1	2	3	4	n_E	n_D	Nº de estados	Probabilidade $P(n_E, n_D)$
E	E	E	E	4	0	$1 = \binom{4}{0}$	$1/16 = (1/2)^4$
D	E	E	E	3	1	$4 = \binom{4}{1}$	$\frac{4}{16} = \frac{1}{4} = \binom{4}{1}\left(\frac{1}{2}\right)^4$
E	D	E	E				
E	E	D	E				
E	E	E	D				
D	D	E	E	2	2	$6 = \binom{4}{2}$	$\frac{6}{16} = \frac{3}{8} = \binom{4}{2}\left(\frac{1}{2}\right)^4$
D	E	D	E				
D	E	E	D				
E	D	D	E				
E	D	E	D				
E	E	D	D				
D	D	D	E	1	3	$4 = \binom{4}{3}$	$\frac{4}{16} = \frac{1}{4} = \binom{4}{3}\left(\frac{1}{2}\right)^4$
D	D	E	D				
D	E	D	D				
E	D	D	D				
D	D	D	D	0	4	$1 = \binom{4}{4}$	$1/16 = (1/2)^4$
					Totais	$16 = 2^4$	1

Entropia é proporcional ao número de microestados !

A entropia é aditiva !
Quando unimos dois sistemas (1 e 2) a entropia final é

$$S = S_1 + S_2$$

O número de microestados é multiplicativo !
Quando unimos dois sistemas (1 e 2) W final é

$$W = W_1 . W_2$$

$$\boxed{S = k \, ln \, W}$$

Boltzmann

9. Considere um gás ideal de N moléculas, em equilíbrio num recipiente de volume V. Calcule: (a) a probabilidade p_1 de encontrar todas as moléculas concentradas num volume $V/3$ (macroestado 1); (b) a probabilidade p_2 de encontrá-las todas num volume $2V/3$ (macroestado 2); (c) A probabilidade p de encontrar $N/3$ moléculas em $V/3$ e as demais no volume restante; (d) a diferença de entropia $\Delta S = S_2 - S_1$ entre os estados 1 e 2; (e) os valores numéricos de p_1, p_2 e p para $N = 9$.

A distribuição espacial de partículas é homogênea

$$P = \left(\frac{V/3}{V}\right)^N = \left(\frac{1}{3}\right)^N$$

$$P = \left(\frac{2V/3}{V}\right)^N = \left(\frac{2}{3}\right)^N$$

$$p_i = \frac{W_i}{W_t} \qquad S_i = k\,ln\,W_i = k\,ln\,p_i + k\,ln\,W_t$$

$$S_f - S_i = k\,ln\,p_f - k\,ln\,p_i$$

4. Para um gás ideal em equilíbrio térmico, calcule o valor médio da magnitude de um componente da velocidade de uma molécula (numa direção qualquer). Compare-o com $< v >$.

Em cartesianas:

$$f(v_x, v_y, v_z) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{3/2} exp\left[-\frac{m(v_x^2 + v_y^2 + v_z^2)}{2kT}\right]$$

$$< |v_x| >= \int_{-\infty}^{\infty} f(v_x, v_y, v_z)\,|v_x|\,dv_x = 2\int_0^{\infty} f(v_x, v_y, v_z)\,|v_x|\,dv_x$$

Fim


H. Moysés
Nussenzveig
Fluidos
2 Oscilações e Ondas
Calor
CURSO DE
FÍSICA
BÁSICA

We shall not cease from exploration
And the end of all our exploring
Will be to arrive where we started
And know the place for the first time.

T.S. Eliot, Little Gidding, Four Quartets

Mais rápido
do que o som ?