

Física 3

(1/2016)

Fluidos, Termodinâmica, Ondas e Ótica

Conexão Micro-Macro (Teoria Cinética dos gases)

Carlos Eduardo Souza (Cadu)
carlooseduardosouza@id.uff.br

Site: **cursos.if.uff.br/fisica3-0116/**

Conexão Micro-Macro

Teoria Cinética dos Gases

A agitação microscópica dá origem a valores previsíveis e constantes de variáveis de estado macroscópicas como a **pressão**, **temperatura** e o **calor específico**.

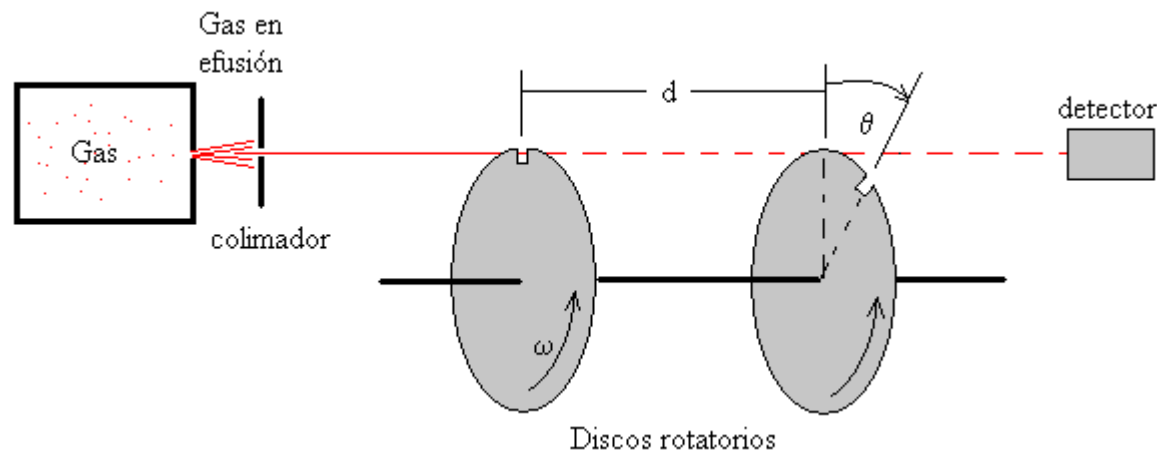
A **Segunda Lei da Termodinâmica** estabelece uma regra para a descrição de processos físicos espontâneos. Processos que conservam a energia, satisfazendo, portanto, a 1ª Lei da Termodinâmica, mas que nunca são observados são proibidos pela 2ª Lei da Termodinâmica.



Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Distribuição de Velocidades dos átomos/moléculas de um gás

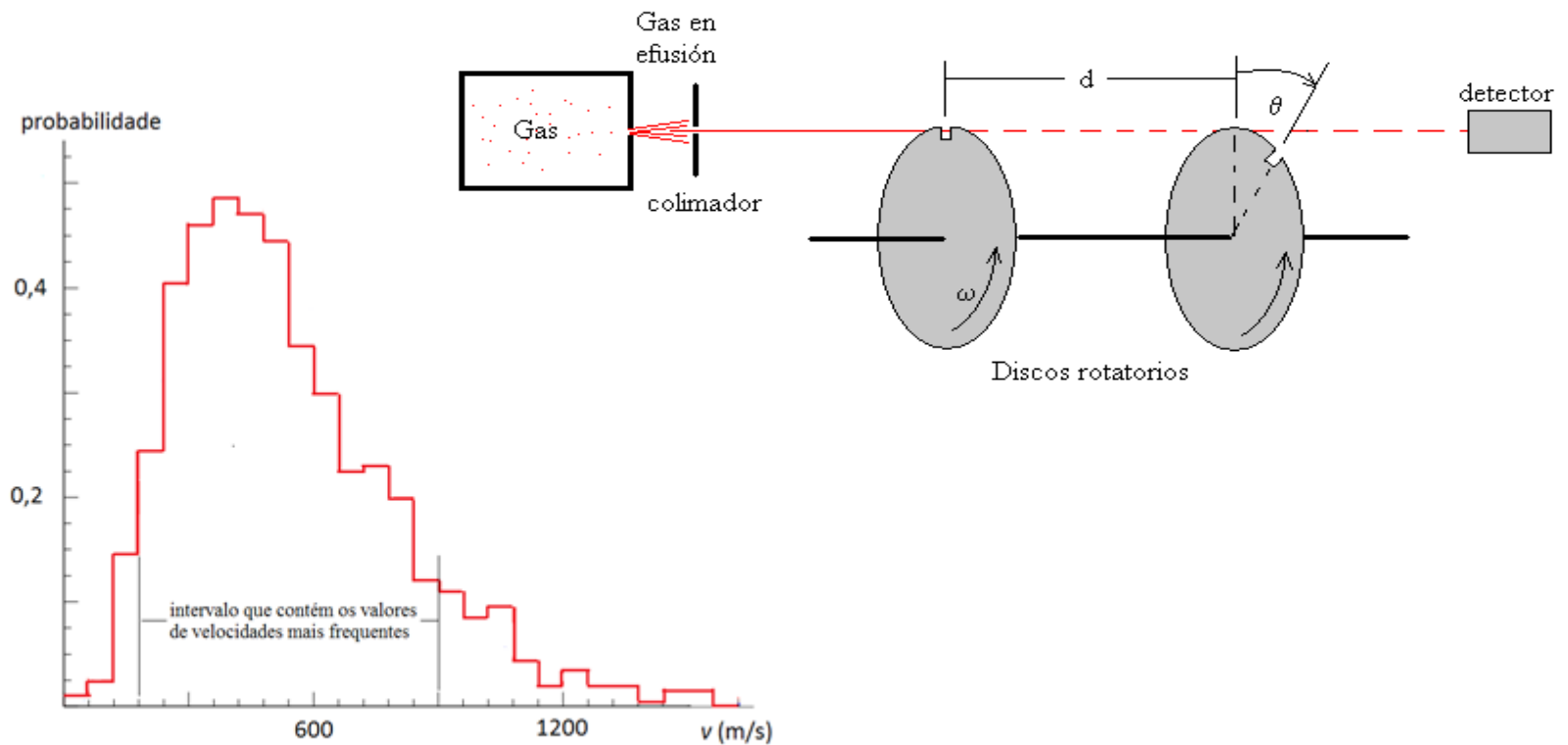


O ajuste da frequência de rotação permite a seleção de partículas com velocidades específicas!

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

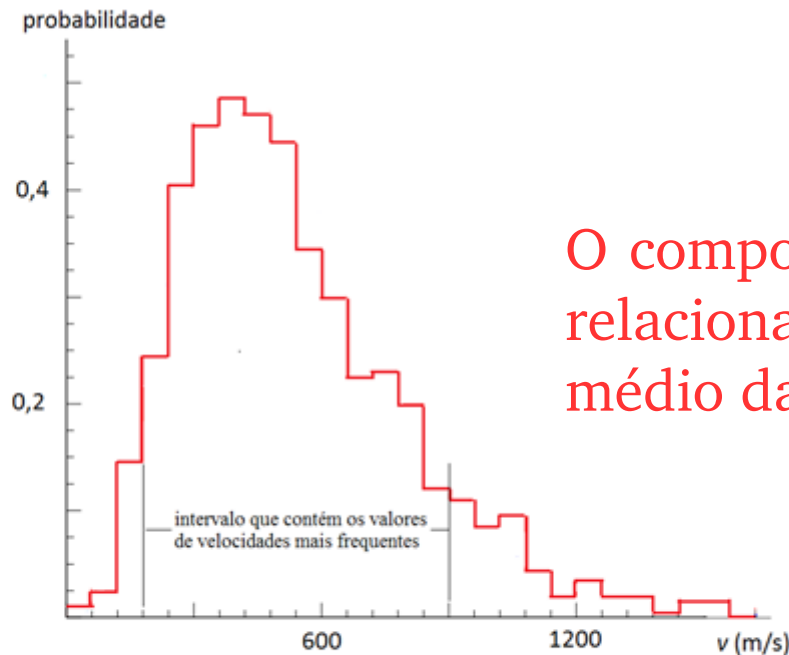
Distribuição de Velocidades dos átomos/moléculas de um gás



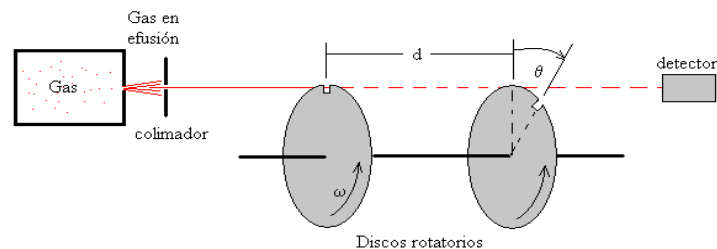
Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Distribuição de Velocidades dos átomos/moléculas de um gás



O comportamento macroscópico está relacionado com o comportamento médio das partículas do gás.

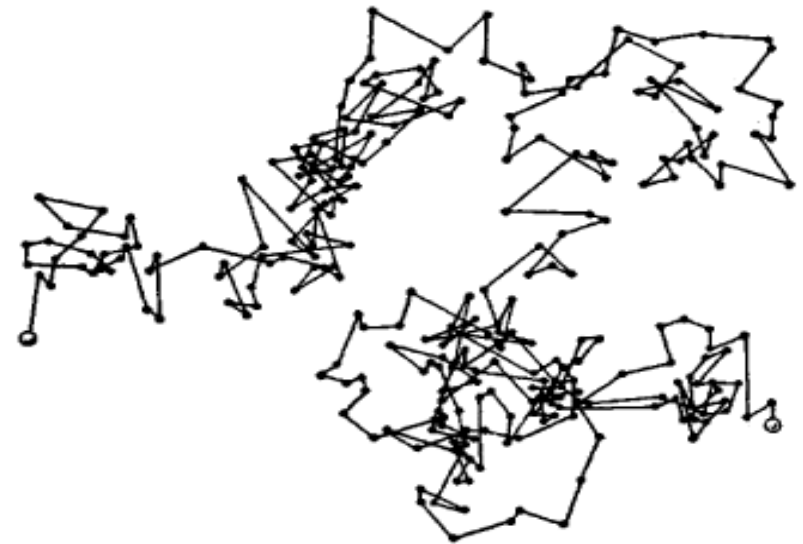


Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Livre caminho médio

- Distância média entre duas colisões
- Intervalo de tempo médio entre duas colisões



Filme de uma molécula em movimento...

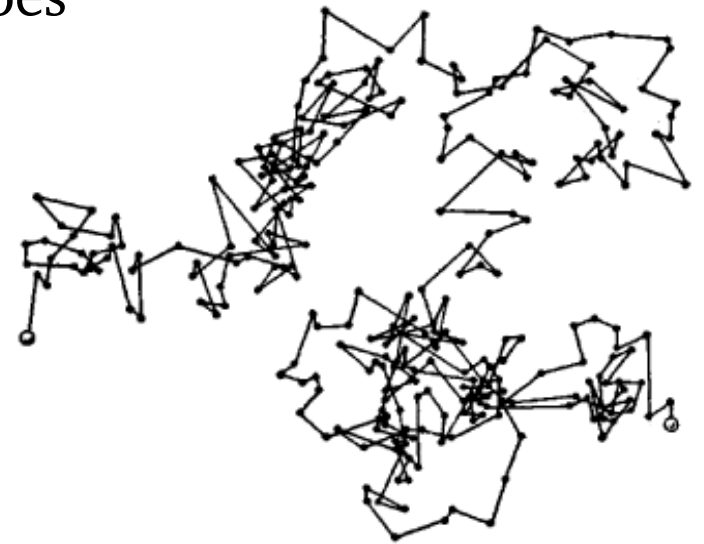
Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Livre caminho médio

- Distância média entre duas colisões
- Intervalo de tempo médio entre duas colisões

$$\lambda = \frac{1}{4\sqrt{2} \pi \frac{N}{V} r^2}$$



$r \sim 0,5 \cdot 10^{-10} \text{ m} \rightarrow$ monoatômicos

$r \sim 1,0 \cdot 10^{-10} \text{ m} \rightarrow$ diatômicos

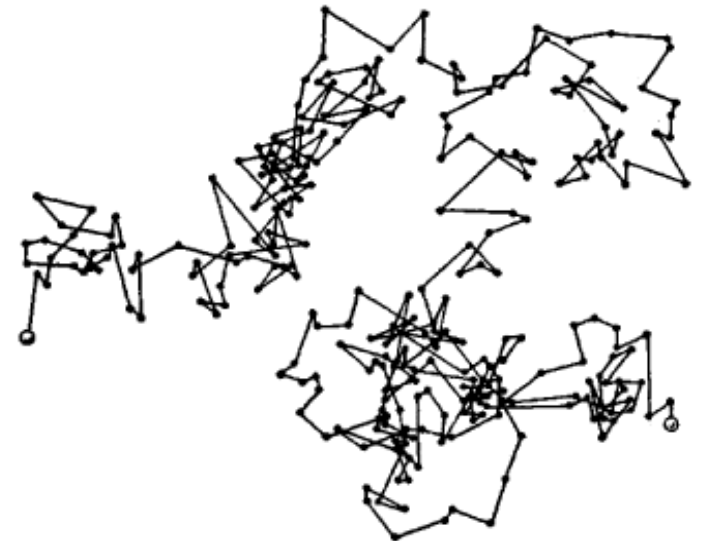
Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Livre caminho médio

Exemplo 18.1: N_2 a 20°C e a $1,0 \text{ atm}$

$$\lambda = 230\text{nm}$$

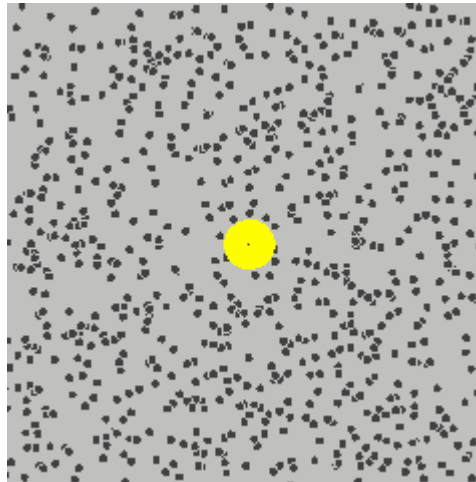


Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Pressão de um gás

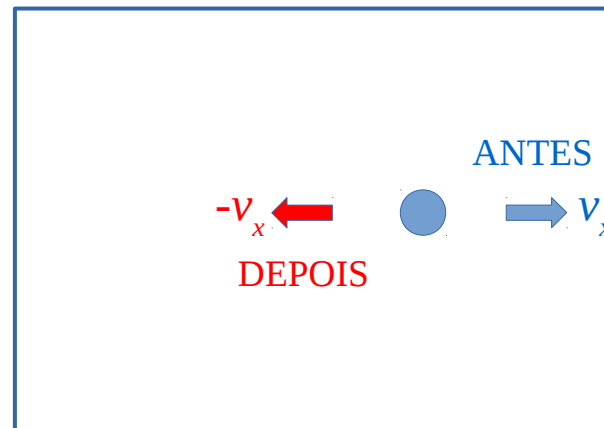
→ resultado das colisões entre as moléculas e as paredes do recipiente.



Pressão de um gás

- resultado das colisões entre as moléculas e as paredes do recipiente.
- quanto maior a pressão, maior a quantidade de movimento das partículas do gás.

Consideremos um recipiente cúbico e uma molécula que colide com a parede.



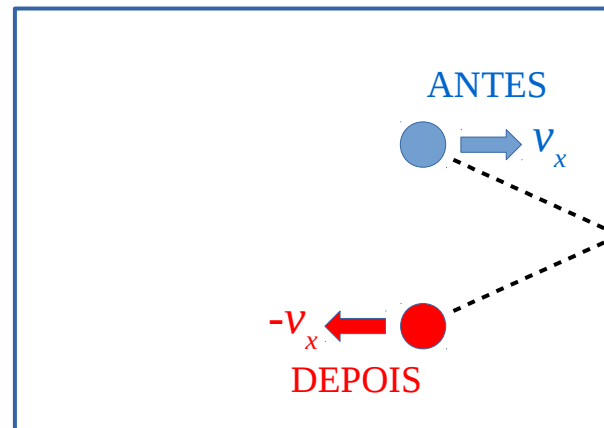
O impulso recebido pela molécula é:

$$\begin{aligned} J_x &= m(-v_x) - mv_x \\ &= -2mv_x \end{aligned}$$

Pressão de um gás

- resultado das colisões entre as moléculas e as paredes do recipiente.
- quanto maior a pressão, maior a quantidade de movimento das partículas do gás.

Consideremos um recipiente cúbico e uma molécula que colide com a parede.



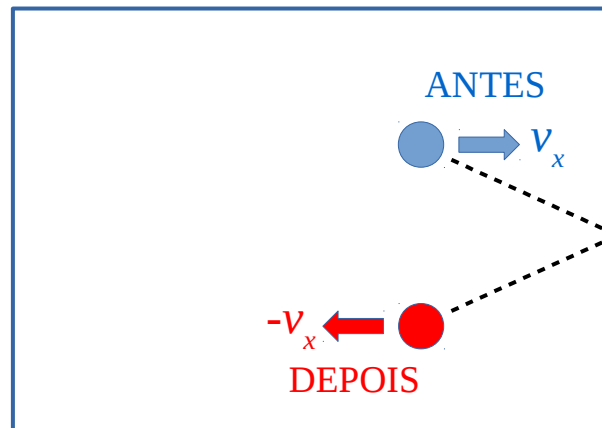
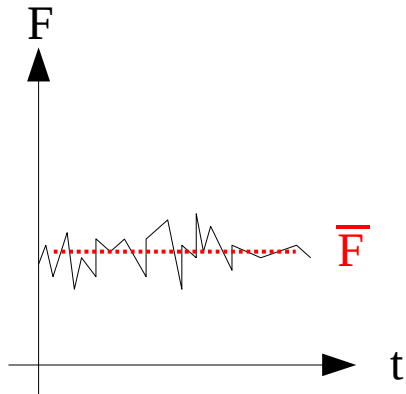
O impulso recebido pela parede é:

$$J_x^{\text{parede}} = -J_x^{\text{molécula}}$$

Pressão de um gás

- resultado das colisões entre as moléculas e as paredes do recipiente.
- quanto maior a pressão, maior a quantidade de movimento das partículas do gás.

Consideremos um recipiente cúbico e uma molécula que colide com a parede.



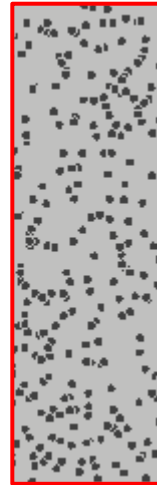
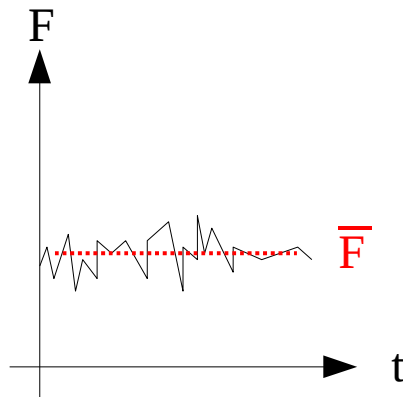
O impulso recebido pela parede é:

$$J_x^{\text{parede}} = -J_x^{\text{molécula}}$$

Pressão de um gás

- resultado das colisões entre as moléculas e as paredes do recipiente.
- quanto maior a pressão, maior a quantidade de movimento das partículas do gás.

Consideremos um recipiente cúbico e uma molécula que colide com a parede.



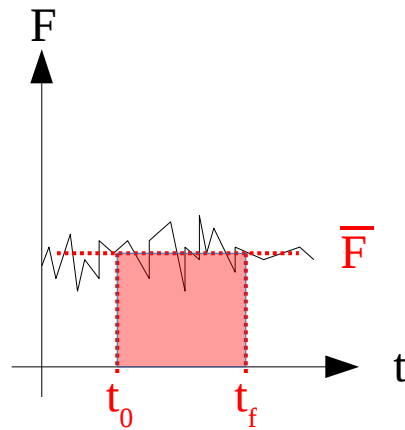
O impulso total recebido pela parede é:

$$J_x^{\text{parede}} = N_{\text{col}} (2mv_x)$$

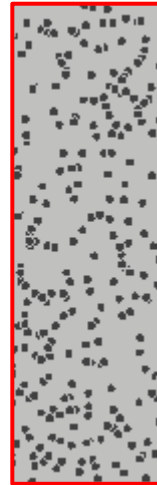
Pressão de um gás

- resultado das colisões entre as moléculas e as paredes do recipiente.
- quanto maior a pressão, maior a quantidade de movimento das partículas do gás.

Consideremos um recipiente cúbico e uma molécula que colide com a parede.



Impulso = Área

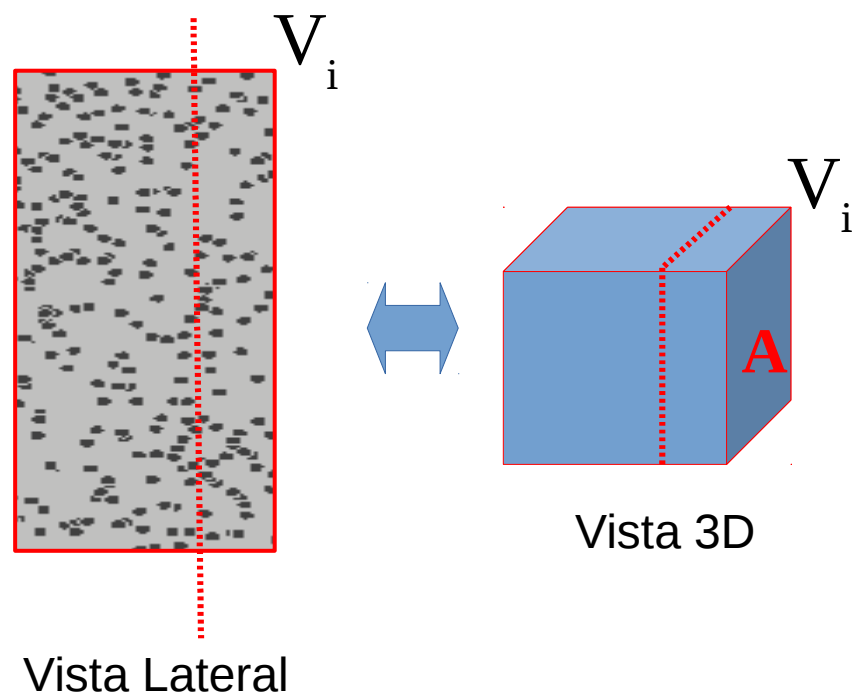


O impulso total recebido pela parede é:

$$J_x^{\text{parede}} = N_{\text{col}} (2mv_x)$$

Pressão de um gás

Consideremos agora uma caixa de volume V que contém gás.

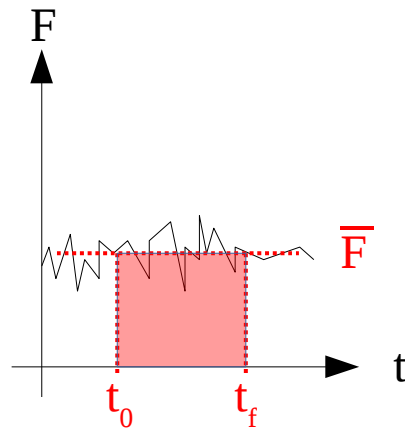


Durante Δt metade das das moléculas contidas em V_i colidem com A , pois possuem componente v_x positiva.

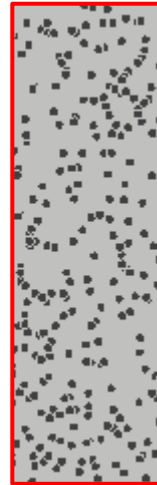
Pressão de um gás

- resultado das colisões entre as moléculas e as paredes do recipiente.
- quanto maior a pressão, maior a quantidade de movimento das partículas do gás.

Consideremos um recipiente cúbico e uma molécula que colide com a parede.

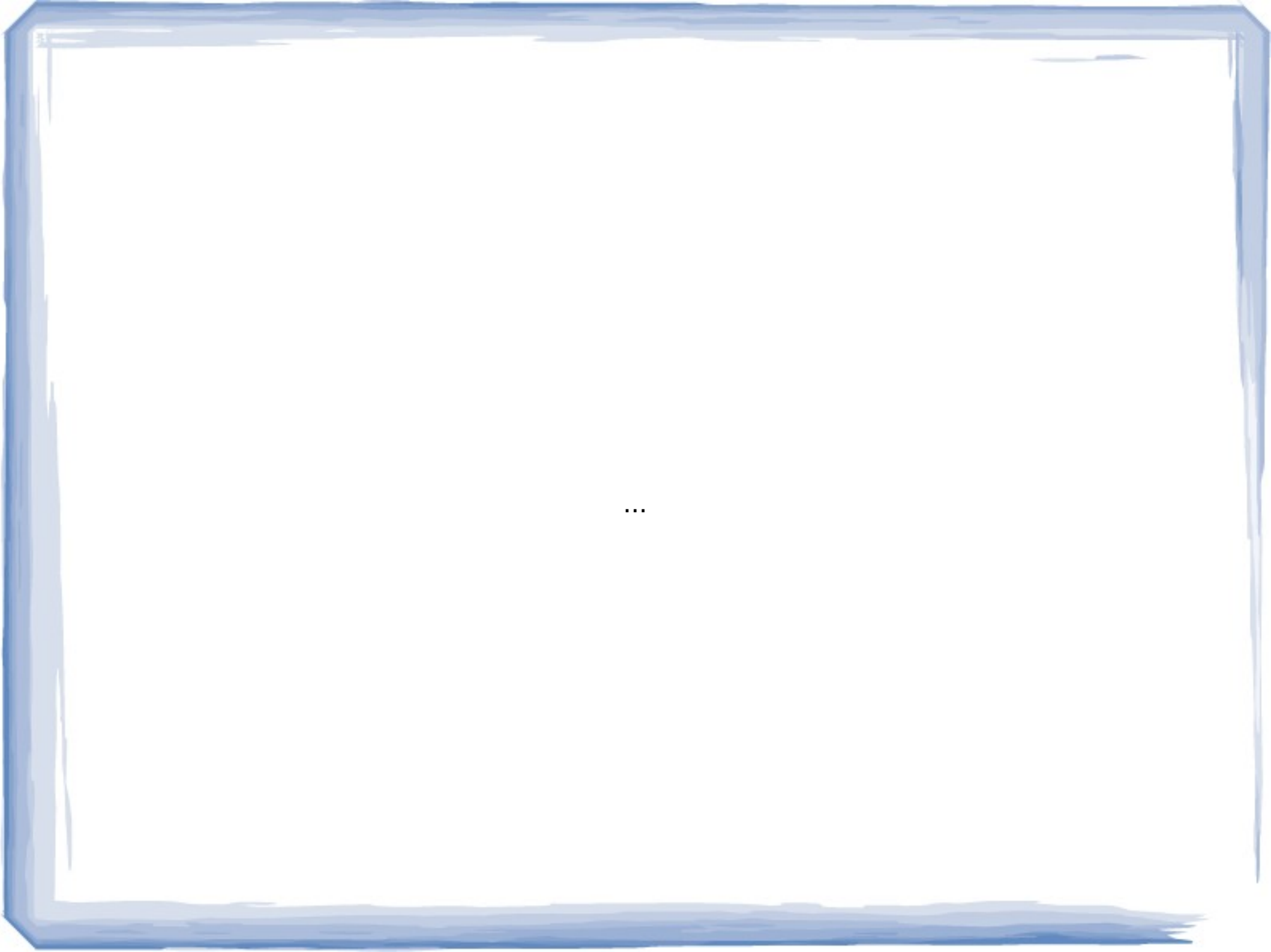


Impulso = Área



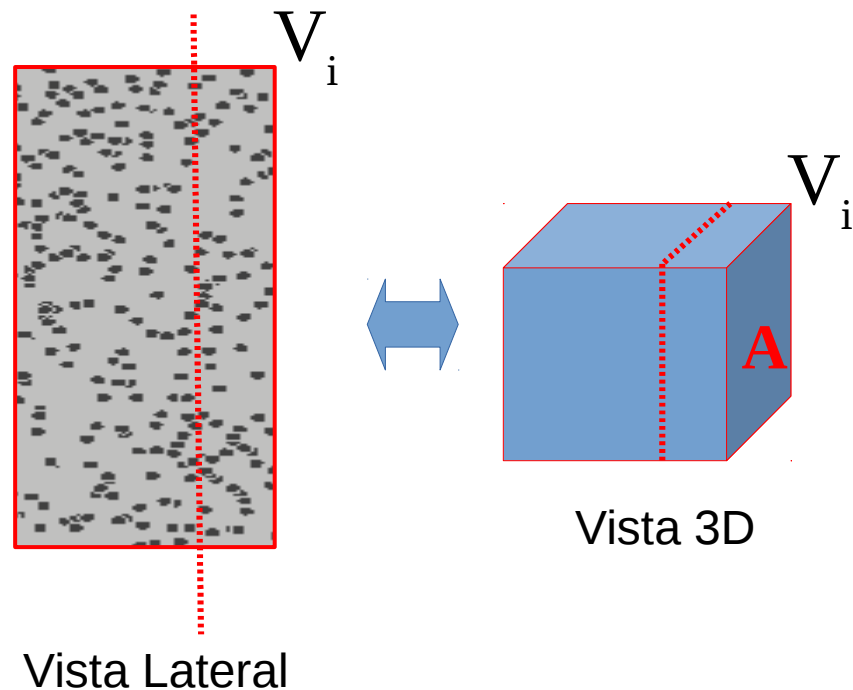
O impulso total recebido pela parede é:

$$J_x^{\text{parede}} = N_{\text{col}} (2mv_x)$$



Pressão de um gás

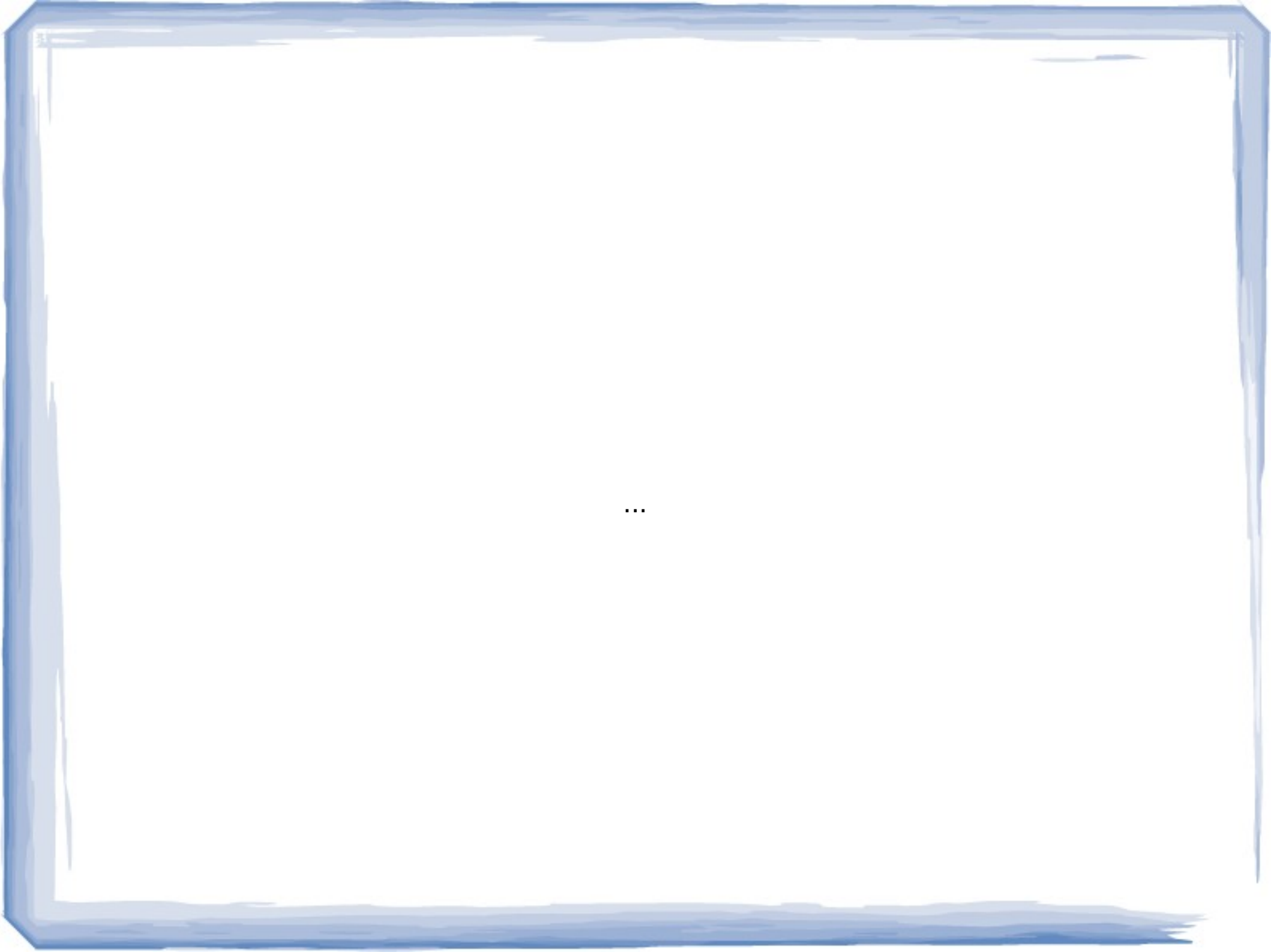
Consideremos agora uma caixa de volume V que contém gás.



Não precisamos estabelecer que todas as moléculas têm a mesma componente de velocidade v_x .

$$v_x^2 \rightarrow \overline{v_x^2}$$

(Média do quadrado das velocidades)



Velocidade RMS

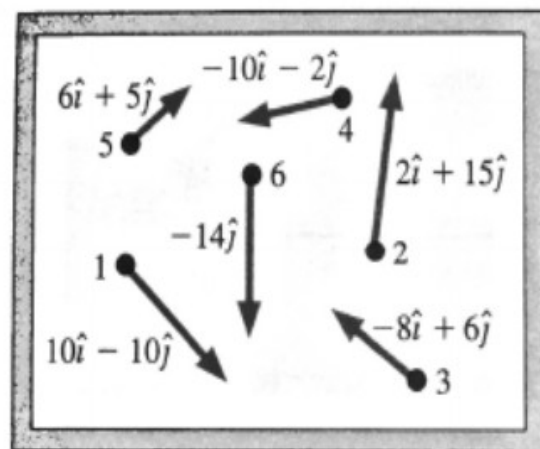


FIGURA 18.8 As velocidades moleculares do Exemplo 18.2. As unidades são m/s.

EXEMPLO 18.2 Cálculo do valor quadrático médio da velocidade

A **FIGURA 18.8** mostra as velocidades de todas as moléculas de um gás bidimensional com seis moléculas. Calcule e compare os valores da velocidade média $\vec{v}_{\text{med}}$, da rapidez média v_{med} e da velocidade rms v_{rms} .

RESOLUÇÃO A Tabela 18.1 mostra os componentes de velocidade v_x e v_y para cada molécula, os quadrados v_x^2 e v_y^2 , sua soma $v_x^2 + v_y^2$ e a rapidez $v = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2}$. As médias de todos os valores de cada coluna estão mostradas no final da tabela. Pode-se verificar que a velocidade média é $\vec{v}_{\text{med}} = \vec{0}$ m/s e que a rapidez média é $v_{\text{med}} = 11,9$ m/s. A velocidade rms é, por sua vez, é

$$v_{\text{rms}} = \sqrt{(v^2)_{\text{med}}} = \sqrt{148,3 \text{ m}^2/\text{s}^2} = 12,2 \text{ m/s}$$

AVALIAÇÃO A velocidade rms é apenas 2,5% maior do que a velocidade média.

TABELA 18.1 Cálculo da velocidade rms e da velocidade média para as moléculas do Exemplo 18.2

Molécula	v_x	v_y	v_x^2	v_y^2	v^2	v
1	10	-10	100	100	200	14,1
2	2	15	4	225	229	15,1
3	-8	6	64	36	100	10,0
4	-10	-2	100	4	104	10,2
5	6	5	36	25	61	7,8
6	0	-14	0	196	196	14,0
Média	0	0			148,3	11,9

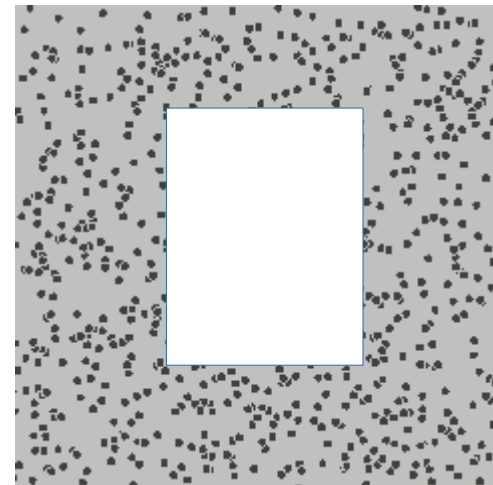
Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Pressão de um gás

→ resultado das colisões entre as moléculas e as paredes do recipiente.

$$P = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m v_{rms}^2$$

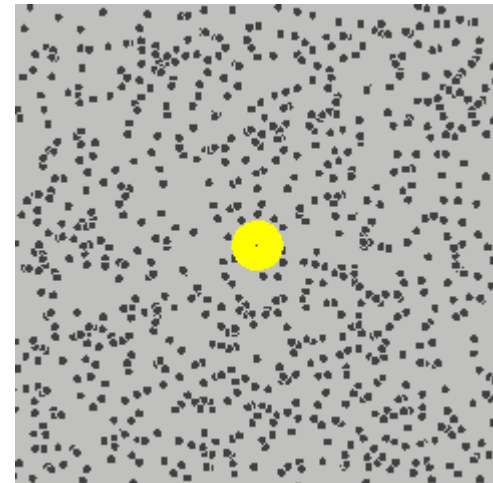


Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Temperatura de um gás

$$\epsilon_{med} = \frac{3}{2} \kappa_B T$$



A energia cinética média de translação de um gás depende **apenas** da temperatura do material, e não da massa da molécula.

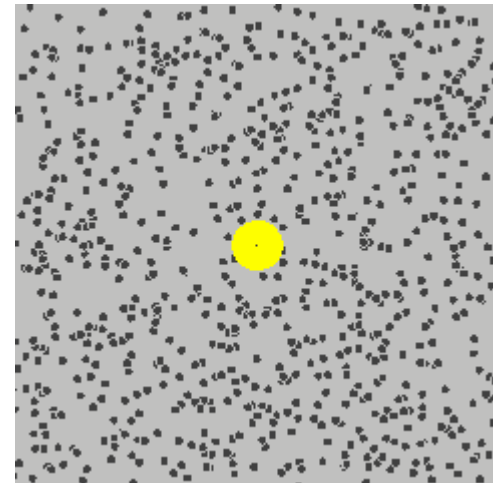
Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Temperatura de um gás

$$\epsilon_{med} = \frac{3}{2} \kappa_B T$$

$$T = \frac{2}{3 \kappa_B} \epsilon_{med}$$



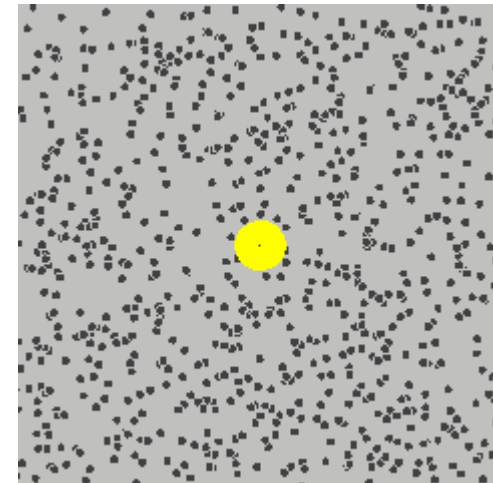
A energia cinética média de translação de um gás depende **apenas** da temperatura do material, e não da massa da molécula.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Velocidade rms de um gás

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3\kappa_B T}{m_{mol\acute{e}cula}}}$$



Teste Conceitual 2

O que acontece com o *livre caminho médio* das moléculas de um gás ideal confinado se ele sofrer um processo isobárico até que $T=2T_o$?

- (A) reduz à metade.
- (B) nada ocorre
- (C) dobra
- (D) impossível determinar

Teste Conceitual 2

O que acontece com o *livre caminho médio* das moléculas de um gás ideal confinado se ele sofrer um processo isobárico até que $T=2T_0$?

- (A) reduz à metade.
- (B) nada ocorre
- (C) **dobra**
- (D) impossível determinar

Física 3

Teste Conceitual 1

Suponha que você pudesse, subitamente, aumentar a velocidade de todas as moléculas de um gás por um fator 2. Neste caso, a v_{rms} do gás aumentaria por

- (A) 2^2
- (B) 2
- (C) $2^{1/2}$
- (D) 1

Física 3

Teste Conceitual 1

Suponha que você pudesse, subitamente, aumentar a velocidade de todas as moléculas de um gás por um fator 2. Neste caso, a v_{rms} do gás aumentaria por

- (A) 2^2
- (B) **2**
- (C) $2^{1/2}$
- (D) 1

Física 3

Teste Conceitual 2

Suponha que você pudesse, subitamente, aumentar a velocidade de todas as moléculas de um gás por um fator 2. Neste caso, a **pressão** do gás aumentaria por

- (A) 2^2
- (B) 2
- (C) $2^{1/2}$
- (D) 1

Física 3

Teste Conceitual 2

Suponha que você pudesse, subitamente, aumentar a velocidade de todas as moléculas de um gás por um fator 2. Neste caso, a **pressão** do gás aumentaria por

- (A) 2^2
- (B) 2
- (C) $2^{1/2}$
- (D) 1

Qual o tempo médio entre colisões do N_2 a 20°C e a $1,0\text{atm}$?

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia

→ No equilíbrio Térmico a energia é partilhada igualmente entre suas várias formas.

$$E^{térm} = E_C + U$$

Gás Monoatômico → $U=0$ (não há energia de ligação entre as moléculas)

$$\begin{aligned} E^{térm} &= \epsilon_1 + \epsilon_2 + \cdots + \epsilon_N \\ &= \frac{3}{2} N \kappa_B T = \frac{3}{2} n R T \end{aligned}$$

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia

→ Dois gases monoatômicos quaisquer terão a mesma energia térmica se estiverem a mesma temperatura, independente da massa de cada um deles.

$$E^{térm} = \frac{3}{2}N\kappa_B T = \frac{3}{2}nRT$$

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia

→ Para qualquer variação de temperatura

$$\Delta E^{term} = \frac{3}{2}nR\Delta T \quad (\text{micro})$$

Mas, no cap. 17 vimos que $\Delta E^{term} = nc_V\Delta T$ (macro)

Igualando as duas expressões:

$$c_V = \frac{3}{2}R = 12,5 \frac{J}{mol \cdot K}$$

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia

→ Concordância perfeita entre o modelo corpuscular da matéria e os experimentos

$$c_V = \frac{3}{2}R = 12,5 \frac{J}{mol \cdot K}$$

A única forma de energia num gás monoatômico é a energia de translação.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia

A única forma de energia num gás monoatômico é a energia de translação.

$$\epsilon = \frac{1}{2} m v^2 = \underbrace{\frac{1}{2} m v_x^2}_{\epsilon_x} + \underbrace{\frac{1}{2} m v_y^2}_{\epsilon_y} + \underbrace{\frac{1}{2} m v_z^2}_{\epsilon_z}$$

$\epsilon_i \rightarrow$ modos independentes de armazenamento de energia.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia

No estudo dos materiais observamos que a energia de um sistema está distribuída **igualmente** em todos os graus de liberdade do sistema e vale

$$N \kappa_B T / 2 \quad \text{ou} \quad n R T / 2$$

para cada grau de liberdade.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

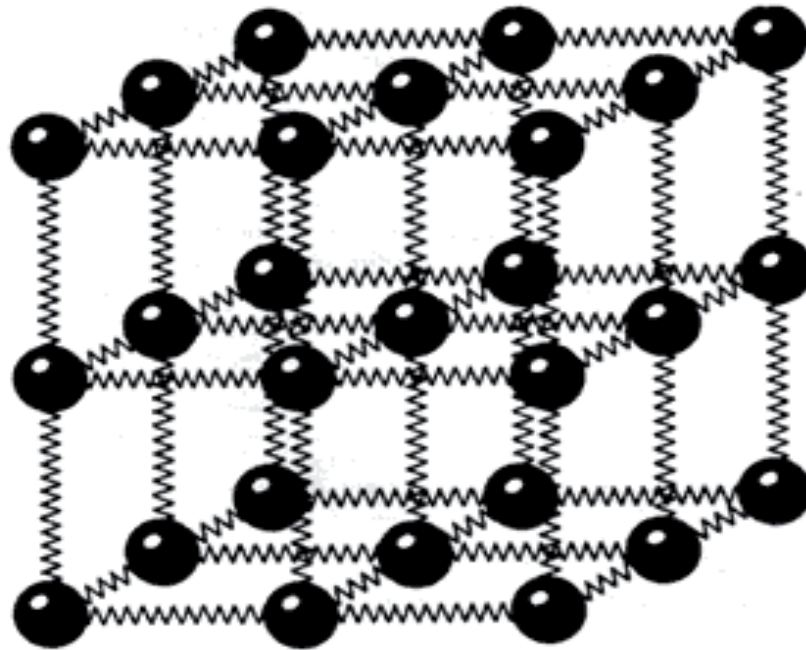
Teorema da Equipartição da Energia

Sólidos. Quantos graus de liberdade??

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia



Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia

Gases Diatômicos. Quantos graus de liberdade??

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia

Gases Diatômicos. Quantos graus de liberdade??

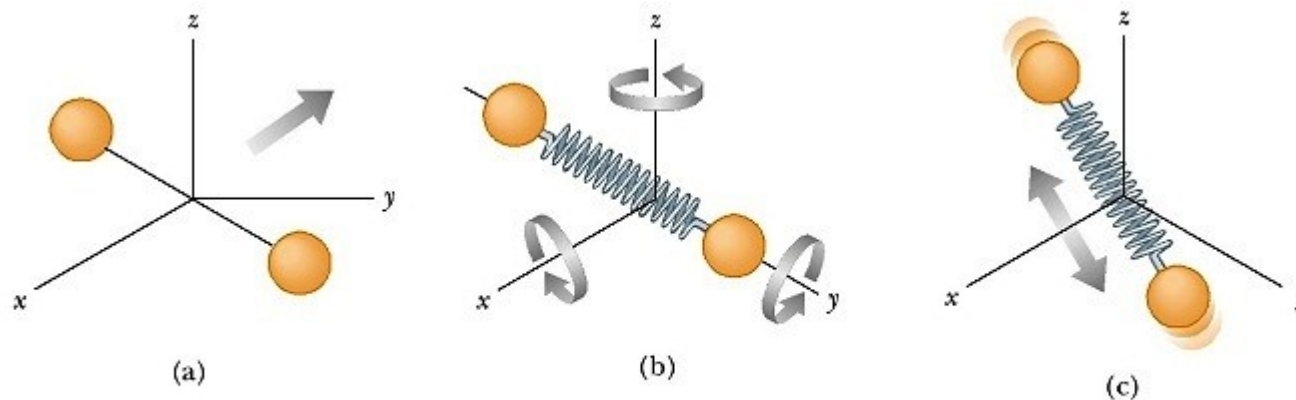


Figure 21.6 Possible motions of a diatomic molecule: (a) translational motion of the center of mass, (b) rotational motion about the various axes, and (c) vibrational motion along the molecular axis.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Teorema da Equipartição da Energia

Gases Diatômicos. Quantos graus de liberdade??

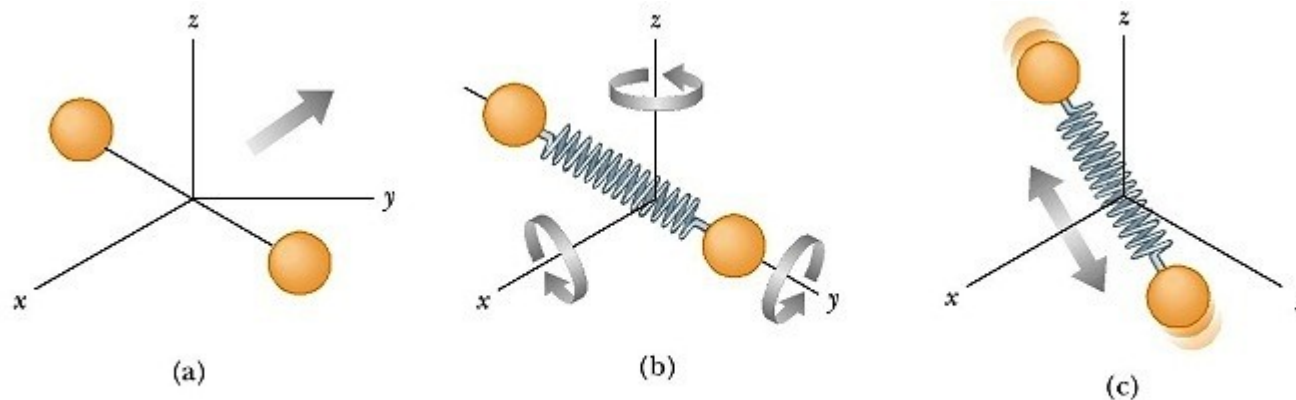


Figure 21.6 Possible motions of a diatomic molecule: (a) translational motion of the center of mass, (b) rotational motion about the various axes, and (c) vibrational motion along the molecular axis.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Gás Diatômico

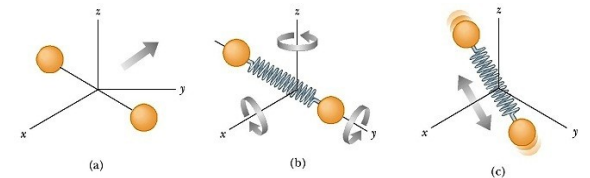


Figure 21.6 Possible motions of a diatomic molecule: (a) translational motion of the center of mass, (b) rotational motion about the various axes, and (c) vibrational motion along the molecular axis.

$$E^{térmica} = \frac{5}{2} N \kappa_B T = \frac{5}{2} n R T$$

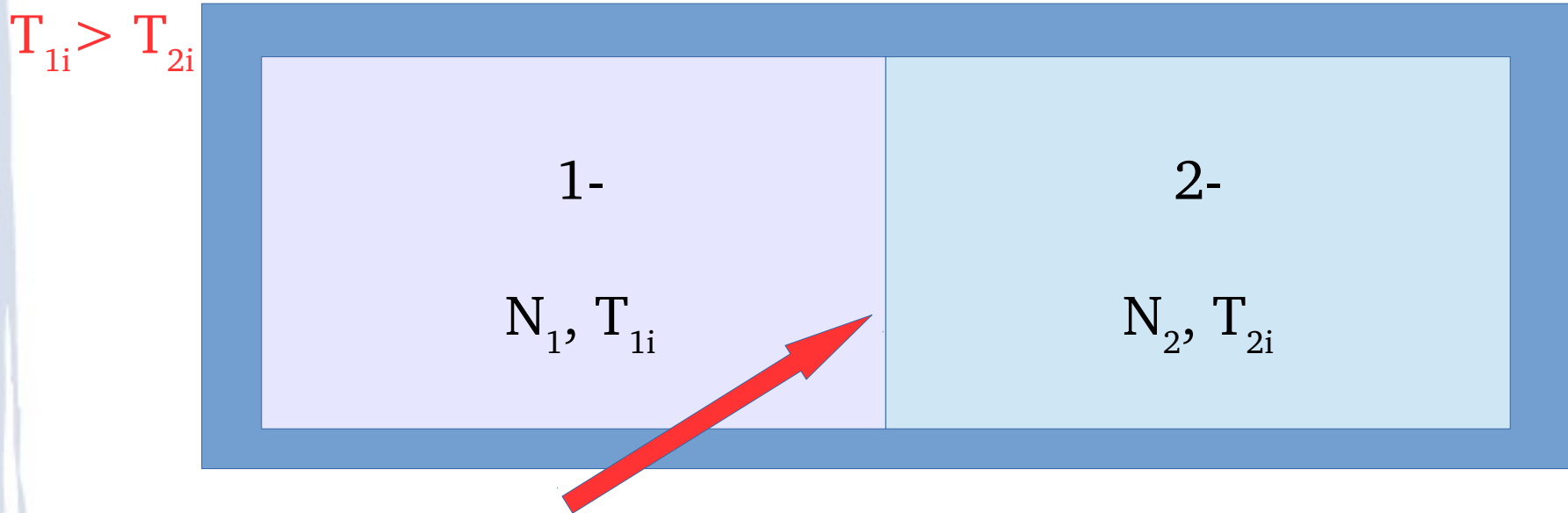
$$c_V = \frac{5}{2} R$$

Todo gás diatômico possui mais energia termica do que um gás monoatômico à mesma temperatura.

Interações Térmicas e Calor

O que ocorre quando dois sistemas a diferentes temperaturas interagem um com o outro?

Consideremos o caso de dois **gases monoatômicos**



Barreira flexível que impede o movimento das partículas de um lado para outro.

Teoria Cinética dos Gases
Conexão Micro-Macro

Interações Térmicas e Calor

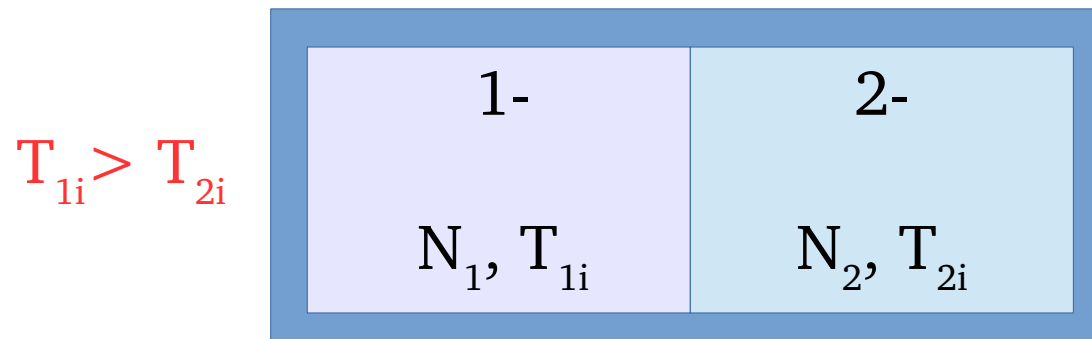
**Como as interações térmicas levam os sistemas até
o equilíbrio?**

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Interações Térmicas e Calor

Consideremos o caso de dois **gases monoatômicos**



$$E_{1i} = \frac{3}{2}n_1RT_{1i} = \frac{3}{2}N\kappa_B T_{1i} \quad \therefore \quad \epsilon_{1i} = \frac{3}{2}\kappa_B T_{1i}$$

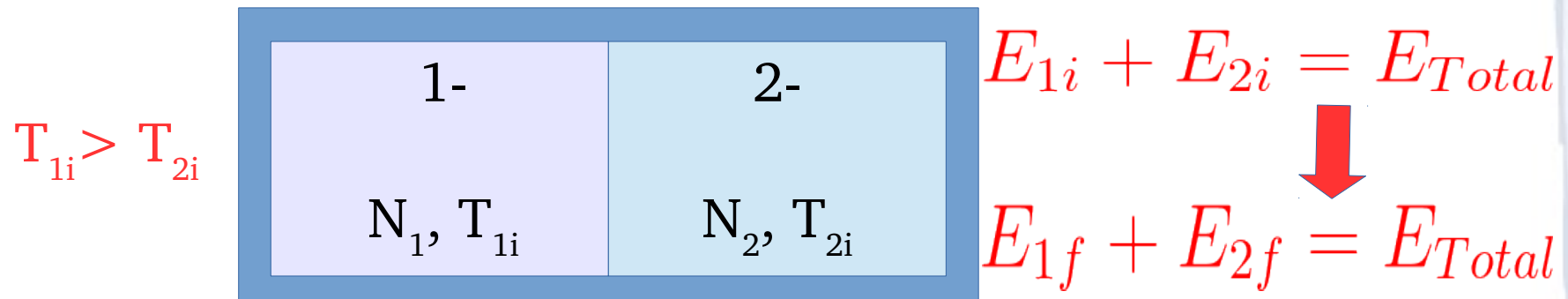
$$E_{2i} = \frac{3}{2}n_2RT_{2i} = \frac{3}{2}N\kappa_B T_{2i} \quad \therefore \quad \epsilon_{2i} = \frac{3}{2}\kappa_B T_{2i}$$

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Interações Térmicas e Calor

Consideremos o caso de dois **gases monoatômicos**



$$E_{1i} = \frac{3}{2}n_1RT_{1i} = \frac{3}{2}N\kappa_B T_{1i} \quad \therefore \quad \epsilon_{1i} = \frac{3}{2}\kappa_B T_{1i}$$

$$E_{2i} = \frac{3}{2}n_2RT_{2i} = \frac{3}{2}N\kappa_B T_{2i} \quad \therefore \quad \epsilon_{2i} = \frac{3}{2}\kappa_B T_{2i}$$

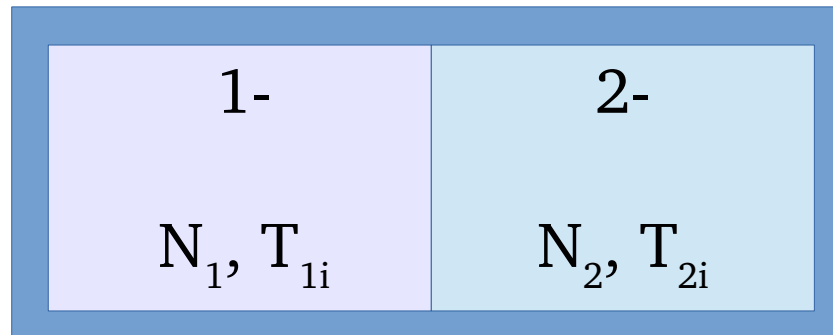
Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Interações Térmicas e Calor

Consideremos o caso de dois **gases monoatômicos**

$$T_{1i} > T_{2i}$$



$$E_{1i} + E_{2i} = E_{Total}$$



$$E_{1f} + E_{2f} = E_{Total}$$

O calor é uma energia transferida por meio de colisões entre átomos mais energéticos (“+ quentes”), de um lado, e os átomos menos energéticos (“+ frios”), de outro.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Interações Térmicas e Calor

No Equilíbrio, a $Q_{12} = Q_{21}$, ou seja, em média, não há transmissão da energia.

$$\bar{\epsilon}_1 = \bar{\epsilon}_2 \Rightarrow T_{1f} = T_{2f}$$

Dois sistemas em interação térmica atingem uma T_f comum porque eles trocam energia através de colisões até que os átomos de cada lado tenham, em média, ϵ_c iguais.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Interações Térmicas e Calor

No equilíbrio térmico, $\bar{\epsilon}_1 = \bar{\epsilon}_2$ (energias cinéticas médias de translação)

$$\frac{E_{1f}}{N_1} = \frac{E_{2f}}{N_2} = \frac{E^{TOTAL}}{N_1 + N_2} \quad \begin{matrix} \nearrow \\ \searrow \end{matrix} \quad \begin{aligned} E_{1f} &= \frac{N_1}{N_1 + N_2} E^{TOTAL} \\ E_{2f} &= \frac{N_2}{N_1 + N_2} E^{TOTAL} \end{aligned}$$

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Interações Térmicas e Calor

No equilíbrio, $\bar{\epsilon}_1 = \bar{\epsilon}_2$ (energias cinéticas médias de translação)

$$\frac{E_{1f}}{N_1} = \frac{E_{2f}}{N_2} = \frac{E^{TOTAL}}{N_1 + N_2} \quad \begin{matrix} \nearrow \\ \searrow \end{matrix} \quad \begin{matrix} E_{1f} = \frac{N_1}{N_1 + N_2} E^{TOTAL} \\ E_{2f} = \frac{N_2}{N_1 + N_2} E^{TOTAL} \end{matrix}$$

$$Q = \Delta E^{term} \left\{ \begin{matrix} Q_1 = E_{1f} - E_{1i} \\ Q_2 = E_{2f} - E_{2i} \end{matrix} \right.$$

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Interações Térmicas e Calor

No equilíbrio, $\bar{\epsilon}_1 = \bar{\epsilon}_2$ (energias cinéticas médias de translação)

$$\frac{E_{1f}}{N_1} = \frac{E_{2f}}{N_2} = \frac{E^{TOTAL}}{N_1 + N_2} \quad \begin{matrix} \nearrow \\ \searrow \end{matrix} \quad \begin{aligned} E_{1f} &= \frac{N_1}{N_1 + N_2} E^{TOTAL} \\ E_{2f} &= \frac{N_2}{N_1 + N_2} E^{TOTAL} \end{aligned}$$

→ Em geral, as energias térmicas dos subsistemas no equilíbrio são $\neq$'s. Só serão iguais se $N_1 = N_2$!

No equilíbrio $\epsilon_1 = \epsilon_2$, e não quando $E_{1f} = E_{2f}$.

Problema:

2 g de He (Hélio) a 300K é colocado em contato térmico com 10 g de Ar (Argônio) a 600K.

- (A) Quanto vale a Energia Térmica de cada gás imediatamente antes do contato térmico?
- (B) O sistema {He+Ar} está em equilíbrio térmico?
- (C) Quanto vale a Temperatura no equilíbrio Térmico?

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

- Por que o calor sempre flui espontaneamente do corpo mais quente para o corpo mais frio?
- É possível entender (descrever) processos macroscópicos (como a transmissão do calor) a partir dos movimentos moleculares microscópicos?

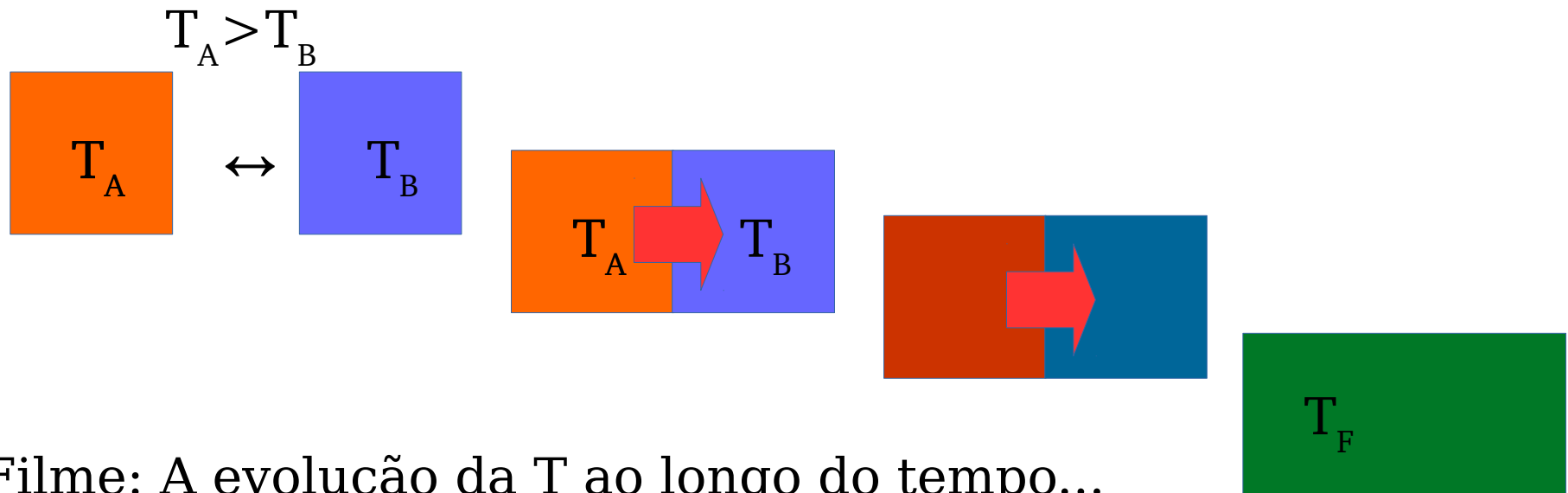
Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

(Dois exemplos)

1- Processo Irreversível – Transmissão de Calor

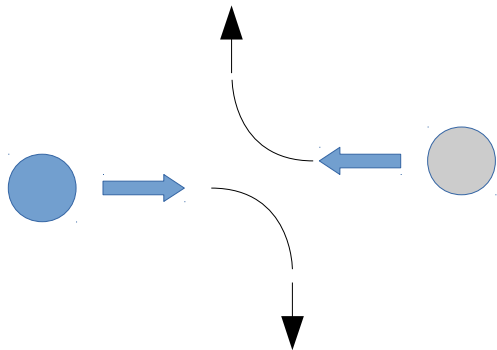


Filme: A evolução da T ao longo do tempo...

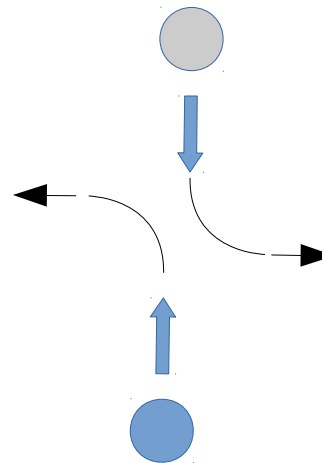
Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

E se o processo ocorrer no mundo microscópico?

2- Processo reversível – colisão entre duas partículas

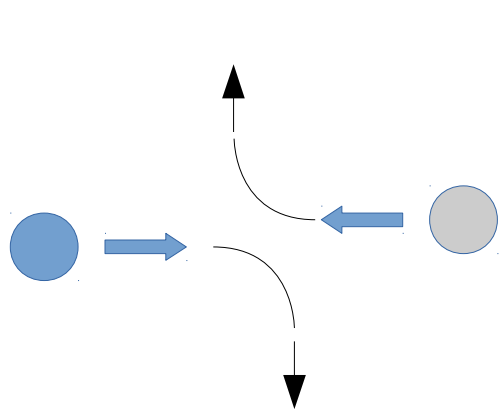


Filme rodado em um sentido

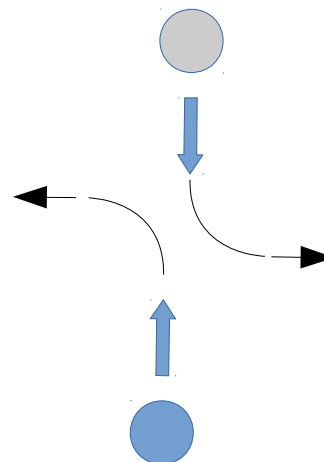


Filme rodado em sentido oposto

2- Processo reversível – colisão entre duas partículas



Filme rodado em um sentido



Filme rodado em sentido oposto

Não há como saber qual filme representa a verdadeira colisão:
Ambas são possíveis!

→ Os processos microscópicos são reversíveis!

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

Nenhuma lei física é violada quando um processo irreversível ocorre ao contrário!?!?!?

Qual é o caminho para o equilíbrio?

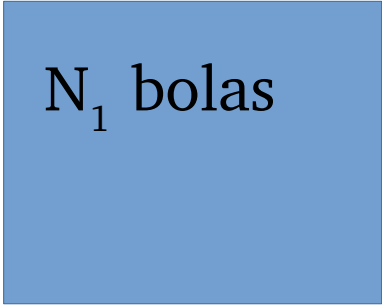
Vamos em busca de uma lei física que determina o sentido de um processo físico...

Teoria Cinética dos Gases

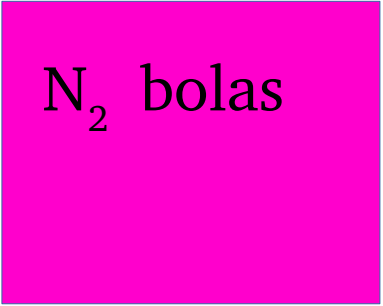
Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

Entendendo o Calor – Mecanismo Microscópico



N_1 bolas



N_2 bolas

A cada segundo, uma bola das $N=N_1+N_2$ é escolhida aleatoriamente e trocada de caixa.

O que ocorre depois de muitas escolhas?

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

Entendendo o Calor – Mecanismo Microscópico

N_1 bolas

N_2 bolas



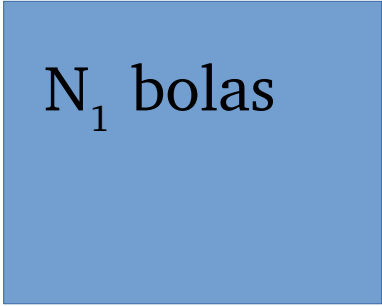
Resposta: Estatisticamente, depois de muitas trocas, $N_1 \approx N_2$!

Teoria Cinética dos Gases

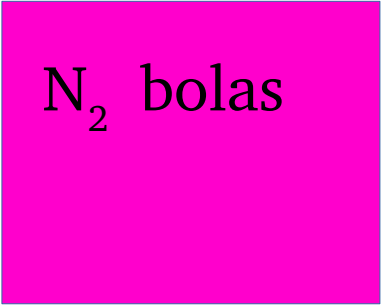
Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

Entendendo o Calor – Mecanismo Microscópico



N_1 bolas



N_2 bolas

N_1 aumentar e N_2 diminuir não viola nenhuma lei física, apenas se trata de um processo improvável.

O equilíbrio é o estado mais provável!

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

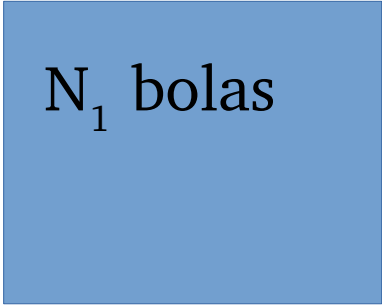
Eventos microscópicos reversíveis resultam em comportamento macroscópico irreversível porque alguns estados macroscópicos são enormemente mais prováveis.

Teoria Cinética dos Gases

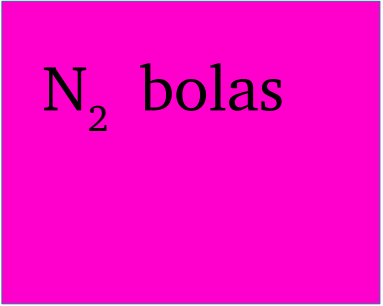
Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

Entendendo o Calor – Mecanismo Microscópico



N_1 bolas



N_2 bolas

Neste exemplo, a bola representa a energia térmica e o Calor é a movimento de troca de caixas.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

A 2ª Lei da Termodinâmica é relacionada com a probabilidade de ocorrência de eventos...

Entropia – variável de estado relacionada ao ordenamento de um sistema físico e a probabilidade da ocorrência de um dado estado macroscópico.

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

A 2ª Lei da Termodinâmica é relacionada com a probabilidade de ocorrência de eventos...

Entropia – variável de estado relacionada ao ordenamento de um sistema físico e a probabilidade da ocorrência de um dado estado macroscópico.

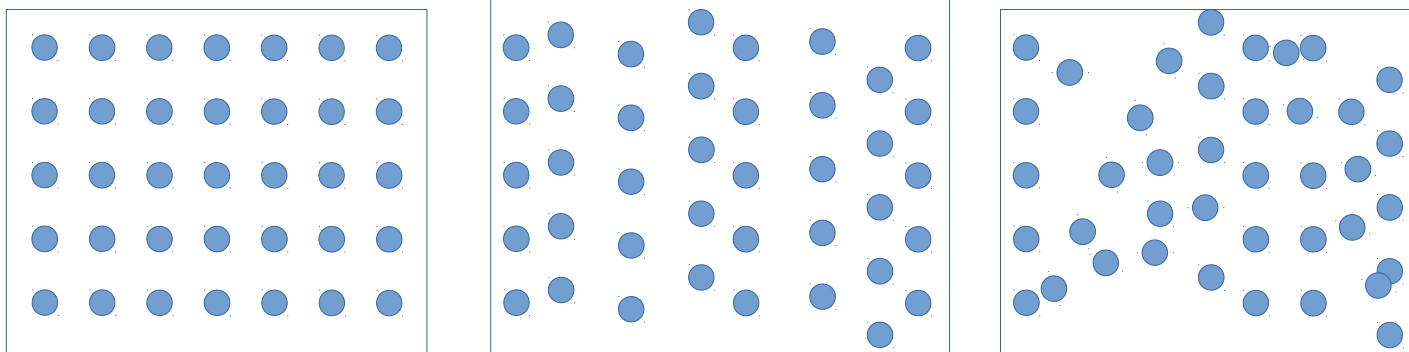
Quanto mais provável for o evento, maior será a entropia!

Teoria Cinética dos Gases

Conexão Micro-Macro

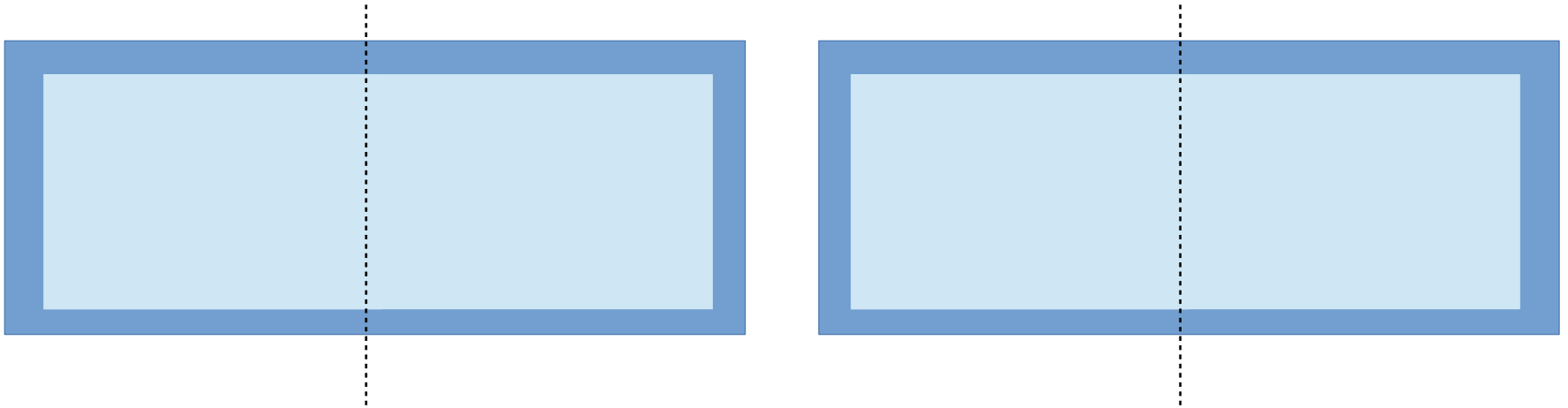
Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

Entropia – variável de estado relacionada ao ordenamento de um sistema físico e a probabilidade da ocorrência de um dado estado macroscópico.



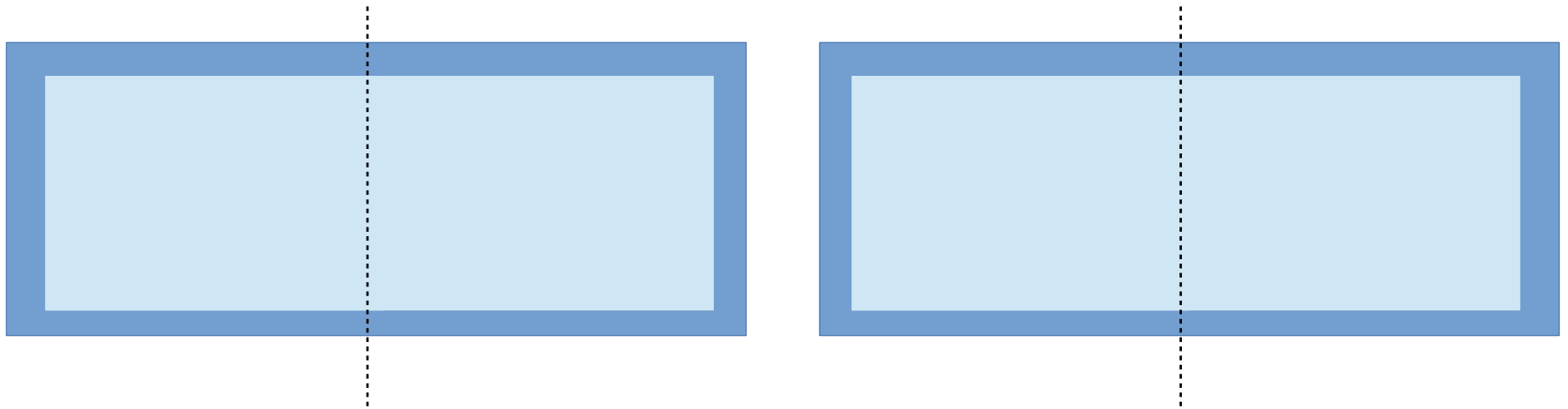
Entropia μ Desordem

Problema: Duas caixas idênticas possuem 1000 moléculas. Na **caixa A 750 se encontram à esquerda e 250 à direita** da mesma. Na **caixa B 495 se encontram à esquerda e 505 à direita** da mesma.



- (A) A entropia da caixa A é maior do que a entropia da caixa B
- (B) A entropia da caixa B é maior do que a entropia da caixa A
- (C) A entropia da caixa A é igual a entropia da caixa B

Problema: Duas caixas idênticas possuem 1000 moléculas. Na caixa A 750 se encontram à esquerda e 250 à direita da mesma. Na caixa B 495 se encontram à esquerda e 505 à direita da mesma.



- (A) A entropia da caixa A é maior do que a entropia da caixa B
- (B) A entropia da caixa B é maior do que a entropia da caixa A
- (C) A entropia da caixa A é igual a entropia da caixa B

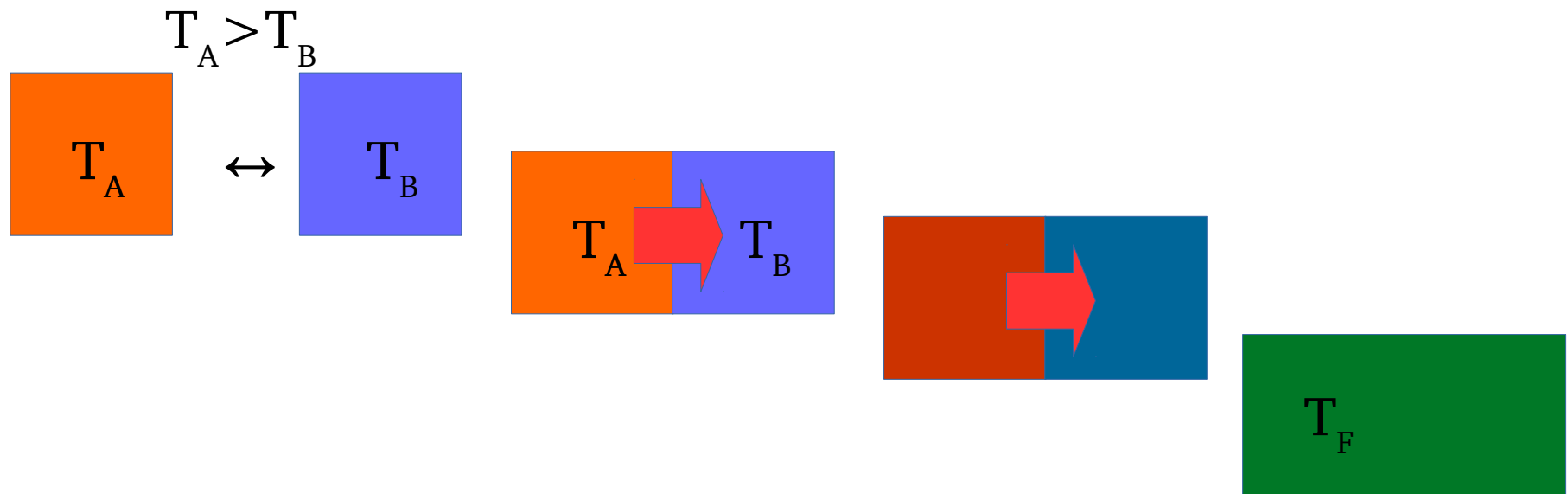
Um estado com baixa probabilidade de ocorrência corresponde a um estado de baixa entropia...

Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

2ª Lei da Termodinâmica: A entropia de um *sistema isolado* nunca diminui. Ou ela aumenta, até que o sistema atinja o equilíbrio, ou ela se mantém inalterada, se o sistema inicia em equilíbrio.

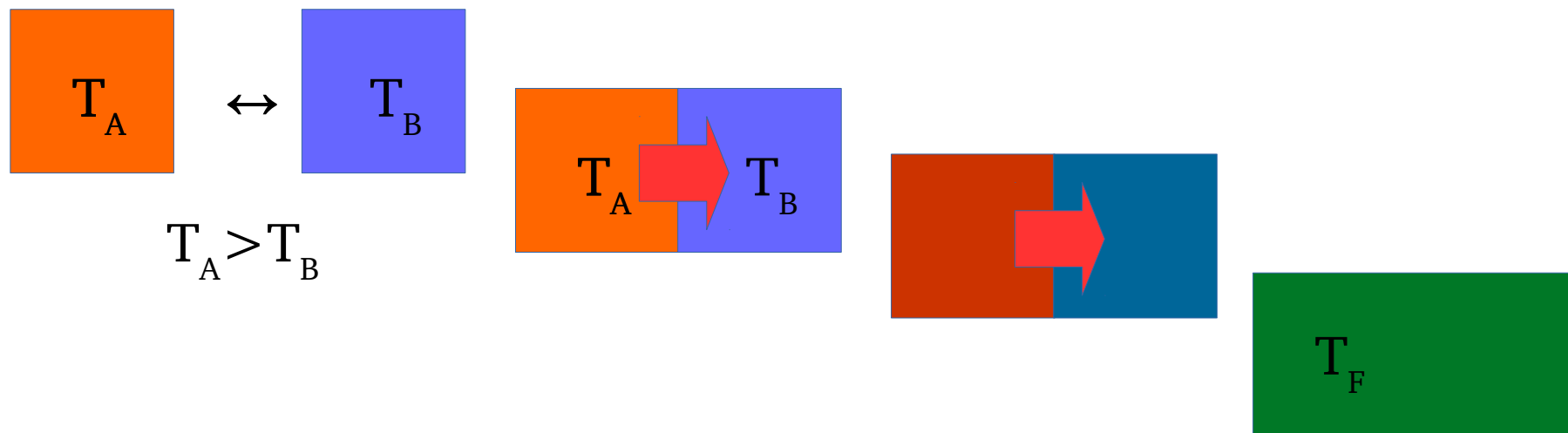
Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

2ª Lei da Termodinâmica: A entropia de um *sistema isolado* nunca diminui. Ou ela aumenta, até que o sistema atinja o equilíbrio, ou ela se mantém inalterada, se o sistema inicia em equilíbrio.



Processos Reversíveis e 2ª Lei da Termodinâmica

2ª Lei da Termodinâmica: A entropia de um *sistema isolado* nunca diminui. Ou ela aumenta, até que o sistema atinja o equilíbrio, ou ela se mantém inalterada, se o sistema inicia em equilíbrio.



A 2ª Lei enuncia o sentido temporal da evolução dos sistemas físicos macroscópicos isolados...

Teste Conceitual

Em um processo reversível o sistema

- A) sempre está próximo do estado de equilíbrio.
- B) está próximo de estados de equilíbrio apenas no início e no fim do processo.
- C) não pode estar perto de qualquer estado de equilíbrio.
- D) está próximo ao equilíbrio durante todo processo, exceto no início e no fim.

Teste Conceitual

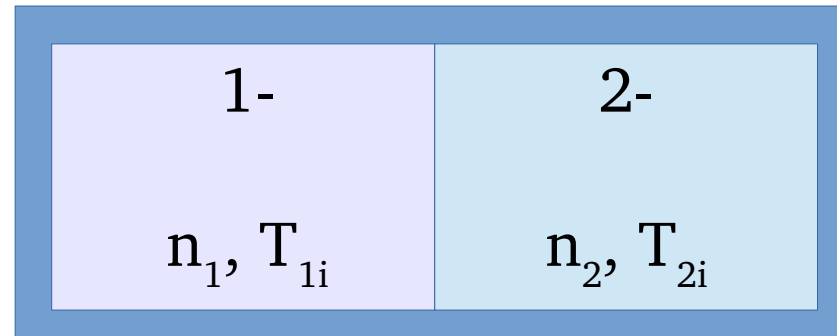
Como resultado de qualquer processo natural, a entropia total de todo o sistema mais a do seu ambiente

- A) nunca diminui.
- B) , por vezes, diminui.
- C) nunca aumenta .
- D) sempre permanece a mesma.

Teste Conceitual

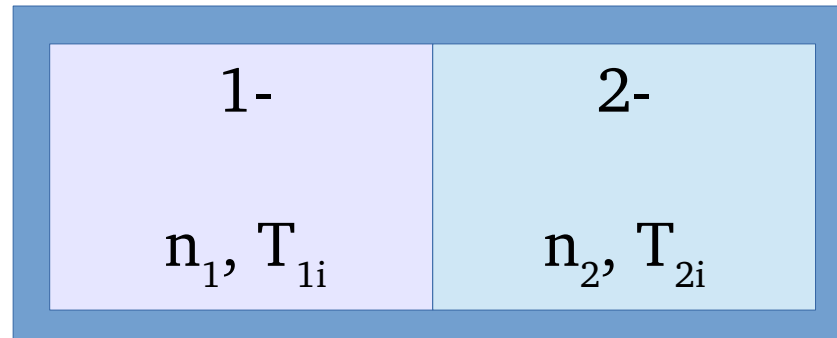
A segunda lei da termodinâmica nos leva a concluir que

- A) a energia total do universo é constante.
- B) desordem no universo está aumentando com o passar do tempo.
- C) é teoricamente impossível converter o trabalho em calor com uma eficiência de 100 %.
- D) a energia total no universo está aumentando com o tempo.



- O lado 1 do recipiente contém n_1 moles de um gás monoatômico a T_{1i}
- O lado 2 do recipiente contém n_2 moles de um gás diatômico T_{2i}

Calcule E_{1f} , E_{2f} e T_f



- O lado 1 do recipiente contém n_1 moles de um gás monoatômico a T_{1i}
- O lado 2 do recipiente contém n_2 moles de um gás diatômico T_{2i}

Calcule E_{1f} , E_{2f} e T_f

Se em 1 tiver 2g He a 300K e em 2 tiver 8g de O₂ a 600K.
Quanto valerá T_f ?

Que quantidade de energia térmica será transferida?