

# Termodinâmica

**Termodinâmica** - ciência que estuda as causas e os efeitos das mudanças das grandezas *Temperatura, Pressão, Volume* e de outras *variáveis termodinâmicas* em sistemas físicos em escala macroscópica.

Do Grego (Therme → Calor e Dynamis → Potência)

Calor => Energia em trânsito e Dinâmica => Movimento

Em essência, a Termodinâmica estuda o movimento da energia num sistema e como a energia cria movimento.

A grandeza calor (  $Q$  ) surge como a “última peça” que faltava para a enunciação de uma *Lei Geral de Conservação da Energia*.

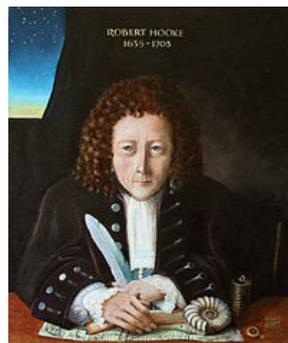
Historicamente, a Termodinâmica se desenvolveu principalmente durante a Primeira Revolução Industrial, com o intuito de se aumentar a eficiência das máquinas à vapor.

1650 - **Guericke** projetou e construiu a primeira bomba de vácuo.

1656 - **Robert Boyle** e **Robert Hooke** construíram uma bomba de ar e estabeleceram as primeiras relações entre a Pressão, a Temperatura e o Volume de um gás.

1697 - **Thomas Savery** construiu a primeira máquina a vapor.

1824 - **Sadi Carnot** publicou "Reflexões sobre a Potência Motriz do Fogo" (Isto marcou o início da termodinâmica como ciência moderna)



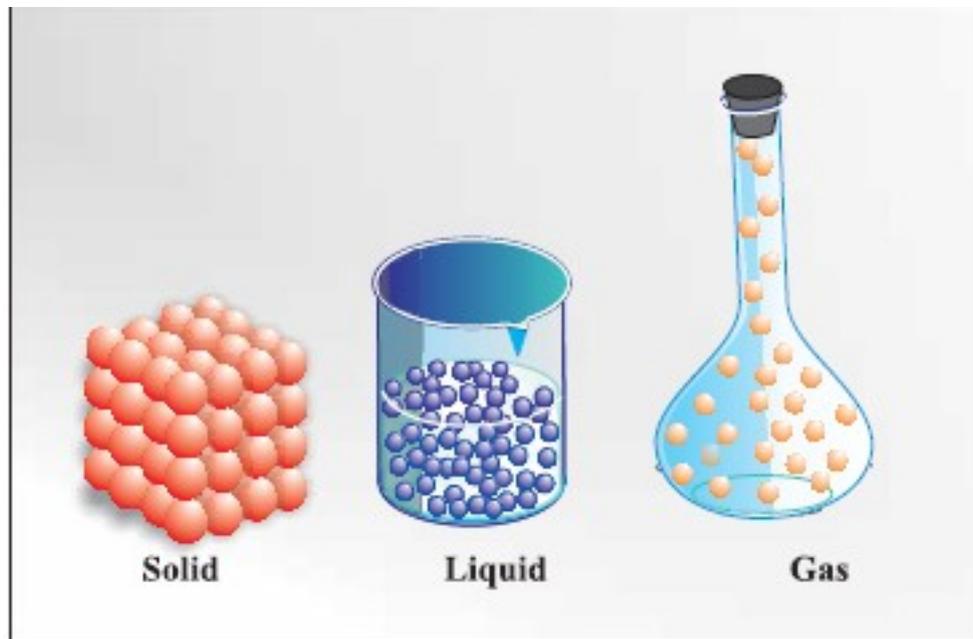
## ***A Termodinâmica não acabou na Rev. Industrial!!!***

Nosso propósito aqui:

- (i) entender a eficiência de processos
- (ii) limites termodinâmicos sobre rendimento
- (iii) Como é possível transformar Calor em Trabalho?

A termodinâmica hoje é aplicada em áreas como a biologia e o mercado financeiro...

## 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases



( Líquido )

- 1- Movimento Browniano
- 2- Movimento Browniano

# 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

A compreensão dos fenômenos “microscópicos” possibilitou uma mudança estrutural na forma de pensar. Ciência e Tecnologia estão inseridas no cotidiano.

*Contudo, muitas das ideias que compõem toda a base para a descrição do mundo microscópico repousam nas nossas observações e experiências cotidianas. Além disso, como veremos no decorrer desse curso, todo o conteúdo visto será também de grande valia para a análise de sistemas macroscópicos como motores.*

## ► Descrição Macroscópica da Matéria

**Variáveis de Estado** = parâmetros usados para caracterizar um sistema macroscópico

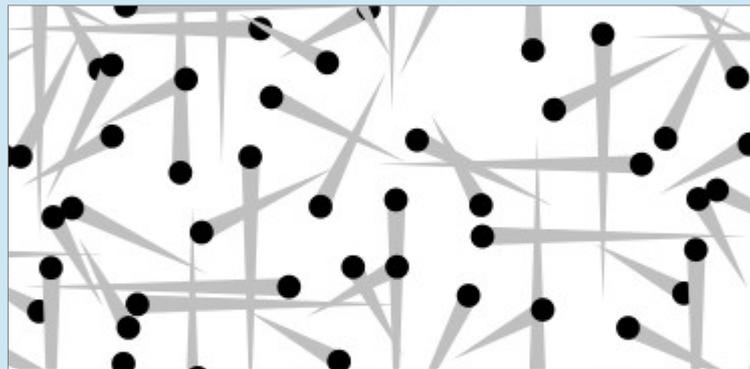
**P, V, T, mols, M,  $\rho$  ...**

## 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

Diz-se que um sistema está em **equilíbrio térmico** se suas *variáveis de estado permanecem constantes no tempo*.

Um sistema isolado tende ao equilíbrio térmico!!

Isolamento Térmico



# 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

►► Unidades de medidas

**Mol**

**1 mol** =  $6,023 \times 10^{23}$  partículas (átomos ou moléculas)

**Concentração:** quão densamente as partículas estão agrupadas

$$\frac{N}{V} \quad \text{Unidade} = [m^{-3}]$$

Sólido  $\sim 10^{29} m^{-3}$

Gás  $\sim 10^{27} m^{-3}$

## 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

### ►► Unidades de medidas

#### **Nº massa atômica**

**Na tabela periódica É representado pelo símbolo A**

$$A = n^{\circ} \text{ de prótons} + n^{\circ} \text{ de nêutrons}$$

**Massa atômica:** massa relativa ao  $^{12}\text{C}$ .

$$m^{12\text{C}} = 12u$$

Assim, de acordo com a convenção:  $1u = \frac{m^{12\text{C}}}{12}$

$$u = 1,660 \times 10^{-27} \text{kg}$$

## 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

Se olharmos na tabela periódica, o Cloro, por exemplo:

$$m^{Cl} = 35,45u$$

Por que não é um número inteiro?

## 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

Se olharmos na tabela periódica, o Cloro, por exemplo:

$$m^{Cl} = 35,45u$$

Nessa conta entram os isótopos também

Cloro-35 → 34,9689 u, tem uma ocorrência de 75,77% na natureza.

Cloro-37 → 36,96590 u, tem uma ocorrência de 24,23% na natureza.

} Média Ponderada

Para nossos propósitos, os números após a vírgula serão desconsiderados

$$m^{Cl} = 35u$$

# 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

## ►► Temperatura

O que é temperatura?

O que determinamos ao medir a temperatura?

- Temperatura

T é uma propriedade medida pelos termômetros!

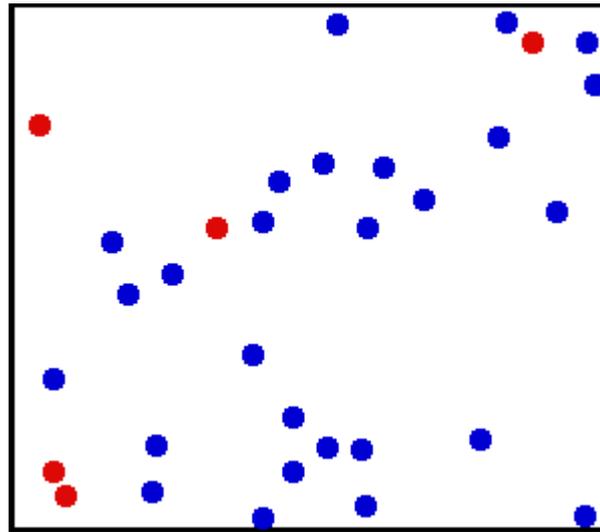
T é uma grandeza relacionada com a Energia Térmica ( $E^{\text{term}}$ ) de um sistema.

Temperatura é uma grandeza que caracteriza o estado térmico de um sistema em equilíbrio... Ela serve basicamente pra nos dizer se haverá ou não variação da  $E^{\text{term}}$  caso o sistema seja colocado em contato térmico com um outro sistema.

**Temperatura não é a  $E^{\text{term}}$  !!!!!!!!**

- Temperatura

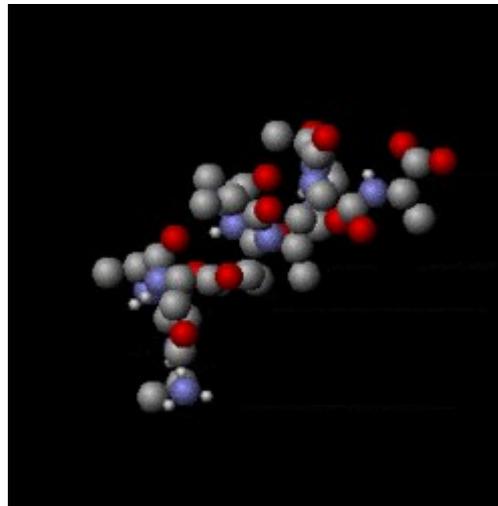
Para gases ideais...



$E^{\text{tér}}m$  é proporcional a velocidade média das partículas

- Temperatura

Para substâncias...



Qto maior  $E^{\text{tér}}m$ , mais os átomos das moléculas vibram, provocando a dilatação térmica e até a mudança de fase.

OBS: Neste caso, a  $E^{\text{tér}}m$  não é apenas a energia de translação.

## Teste Conceitual 1

Para construir um termômetro é necessário utilizar uma substância que

- A) expanda com o aumento da temperatura.
- B) expanda linearmente com o aumento da temperatura.
- C) não congele
- D) sofra alguma mudança quando aquecida ou resfriada.

# 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

## ►► Temperatura

Medindo a Temperatura: **termômetros** – qualquer sistema macroscópico que sofra alteração mensurável ao trocar energia térmica com o que está ao seu redor.

Escalas:

	Celsius	Fahrenheit	Kelvin
Ebulição da Água	100°C	212°F	373
Fusão da Água	0°C	32°F	273
Mínima Energia			0

Termômetro de Hg



$$T \Leftrightarrow V$$

# 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

## ►► Temperatura

Conversão de escalas:

$$T_F = \frac{9}{5}T_C + 32^\circ$$

$$T_K = T_C + 273$$



## 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

### ►► Temperatura

*Termômetro de gás a volume constante*

Utilizando o fato que  $P \propto T$

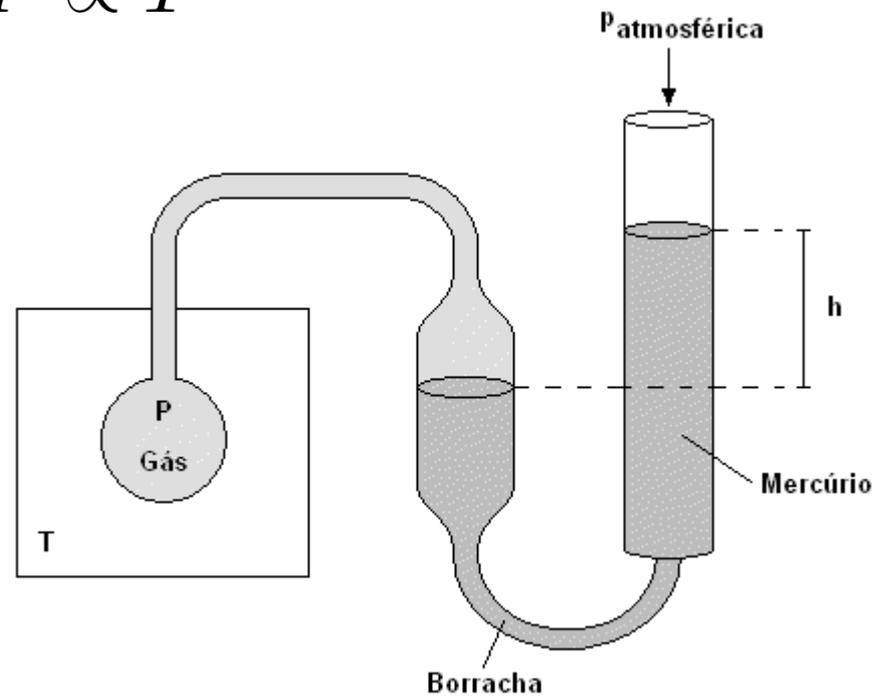


Figura 16.2 (pg 486 D. Knight)

## Teste Conceitual 2

Suponha que um objeto **C** esteja em equilíbrio térmico simultaneamente com dois objetos **A** e **B**. A Lei Zero da Termodinâmica afirma que:

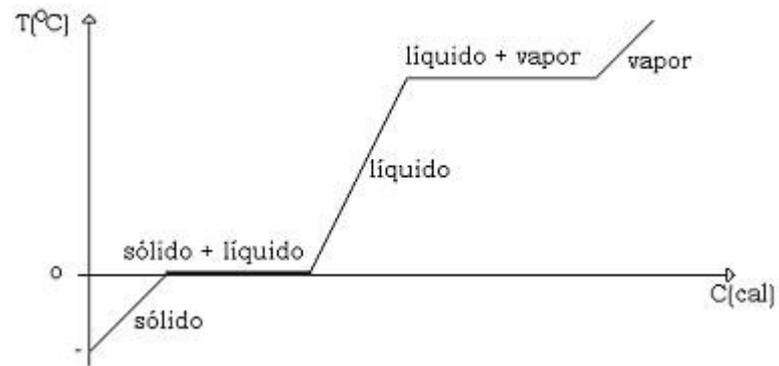
- A) que o objeto **C** sempre estará em equilíbrio térmico com o objeto **A** e o objeto **B**.
- B) que **C** têm que transferir energia para ambos **A** e **B**
- C) que **A** está em equilíbrio térmico com **B**
- D) que **B** está em equilíbrio térmico **C** mas que **B** e **A** não estão em equilíbrio térmico.

## **Lei Zero da Termodinâmica**

**Dois sistemas em equilíbrio térmico com um terceiro sistema estão em equilíbrio térmico entre si.**

# 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

## ► ► Mudança de Fase



### Teste Conceitual 3

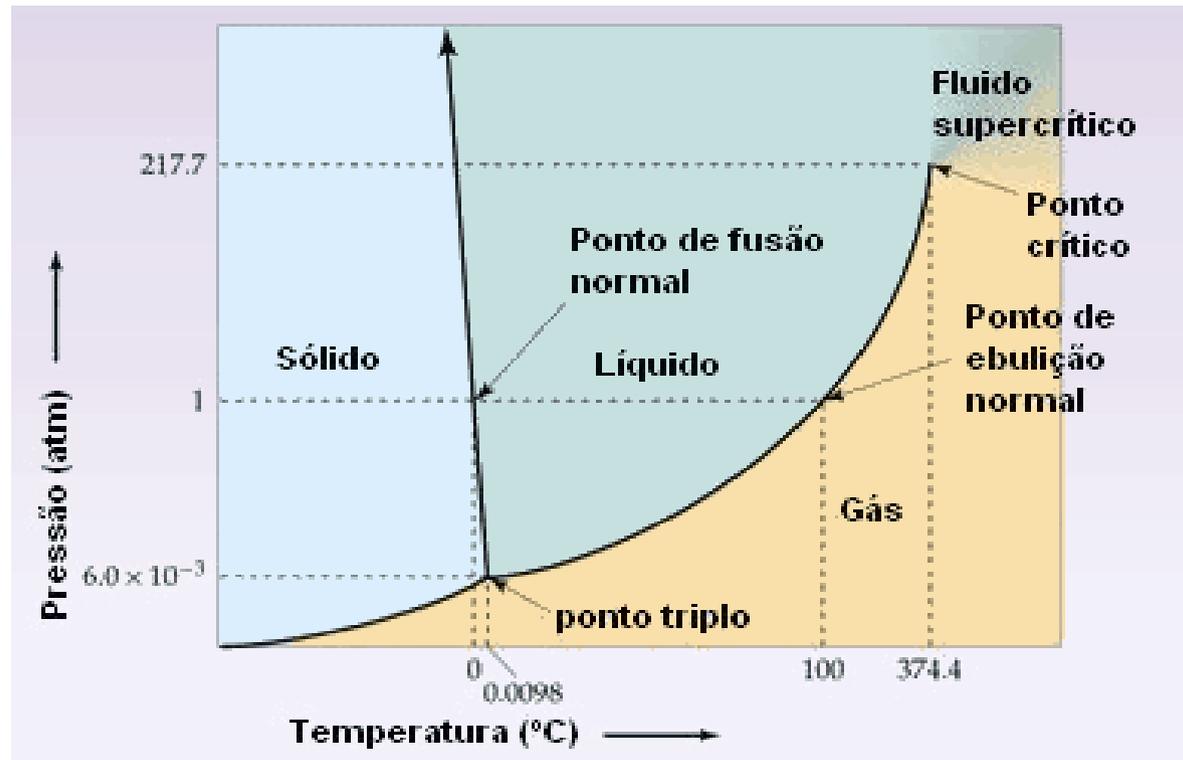
O ponto triplo de uma substância é o ponto para o qual a temperatura e a pressão

- A) permitem a coexistência da substância nas formas sólida e líquida em equilíbrio
- B) permitem a coexistência da substância nas formas sólida e gasosa em equilíbrio
- C) permitem a coexistência da substância nas formas sólida, líquida e gasosa em equilíbrio
- D) permitem a coexistência da substância nas formas líquida e gasosa e fluida em equilíbrio



## 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

- ► Mudança de Fase
- Diagrama de fase da água



se aumentarmos P em torno do ponto de fusão, T fusão diminui.

# 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

- ► Mudança de Fase
- Diagrama de fase da água

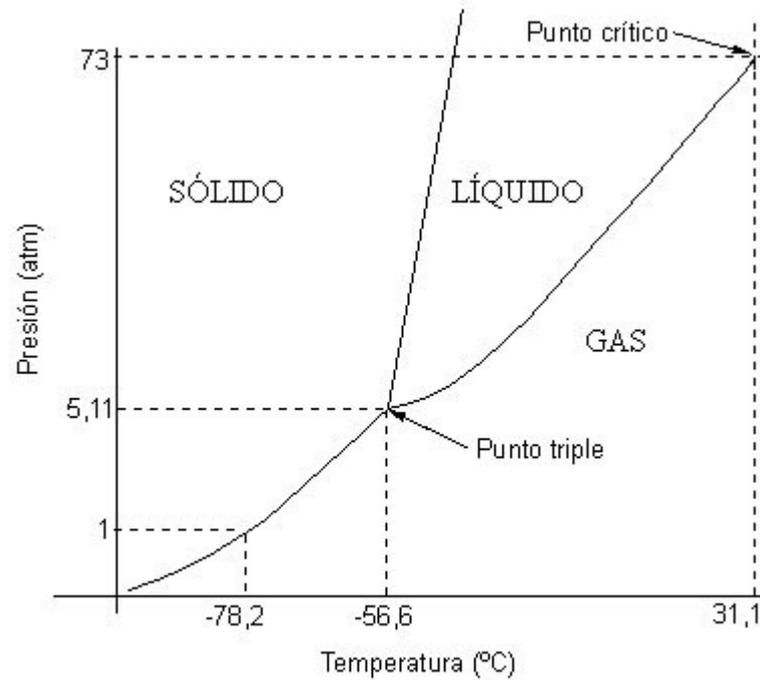


Fig.1: Diagrama de fases del CO<sub>2</sub>

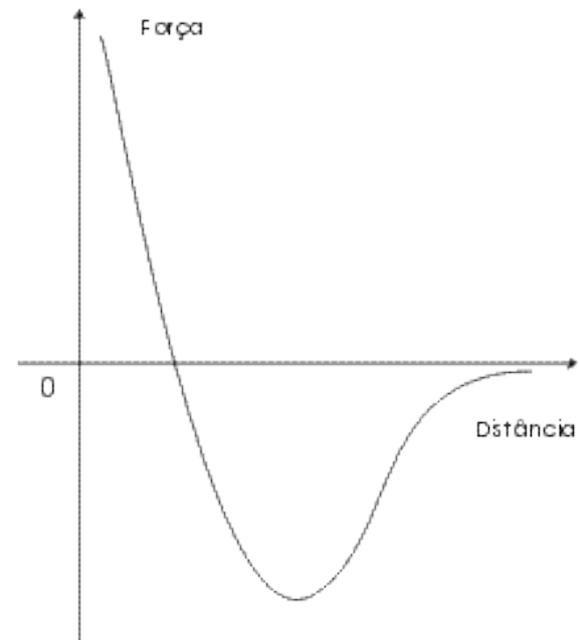
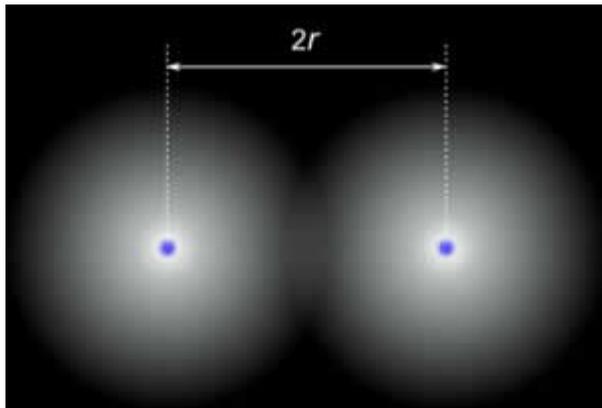
1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

## **Descrição dos Gases**

# 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

## ►► Modelo Atômico

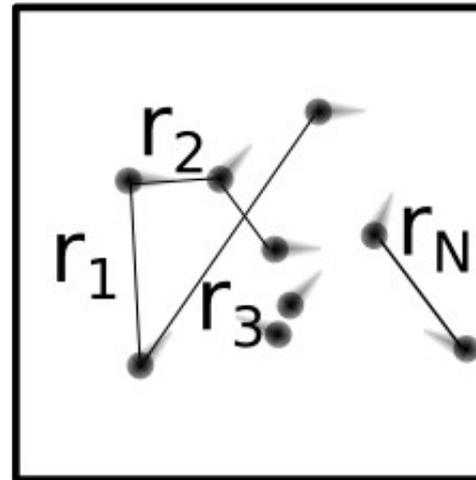
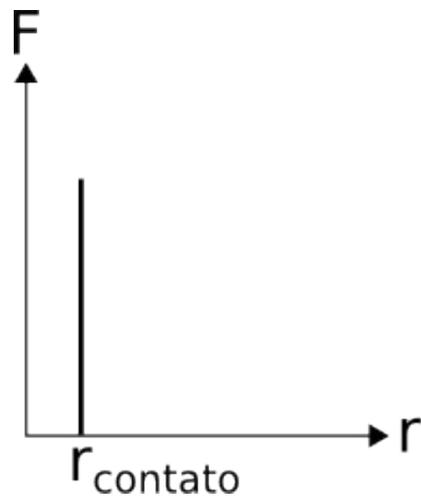
Da experiência cotidiana é mais fácil quebrar um objeto do que comprimi-lo...



## 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

### ►► Modelo Atômico: Gás Ideal ou Gás Perfeito

Nos gases, em geral,  $r_1, r_2, \dots, r_N \ll r_{eq}$ , isto é, praticamente não Existe interação entre as partículas quando não há colisão.



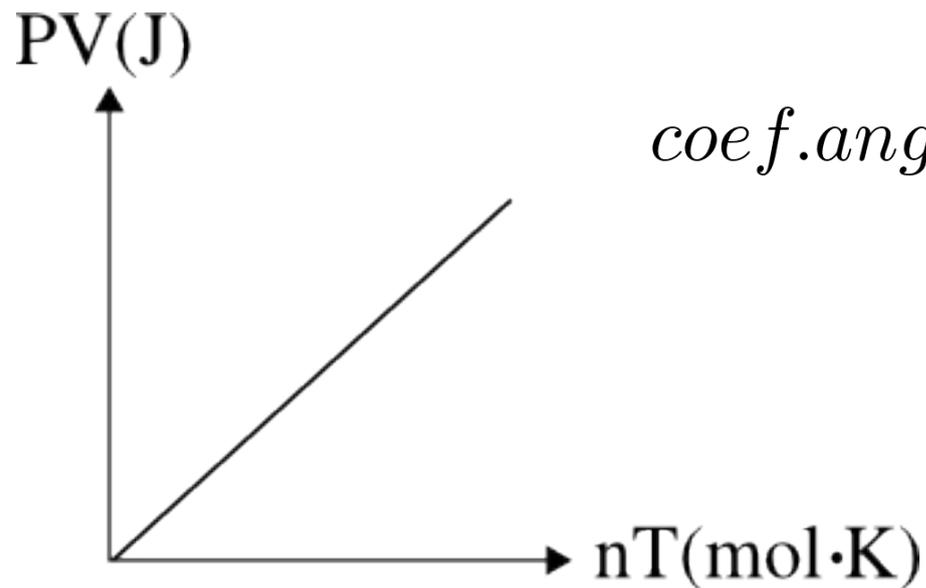
Modelo válido para:

- Baixa pressão
- $T \gg T_{fusão}$

# 1- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

## ►► Gás Ideal

!! Variáveis de estado: P, V, T e n. (Não são independentes entre si)



$$\text{coef.ang} = R = 8,31 \frac{J}{\text{mol}\cdot K}$$



$$PV = nRT$$



$$PV = nRT$$

A eq. acima caracteriza o gás (em função das variáveis de estado  $P$ ,  $V$ ,  $T$  e  $n$ ) no equilíbrio térmico.

Se o gás estiver confinado num recipiente:

$$\frac{PV}{T} = \frac{P_0V_0}{T_0}$$

Problema:

**Qual a distância média entre as partículas num gás nas CNTP?**

Dados:

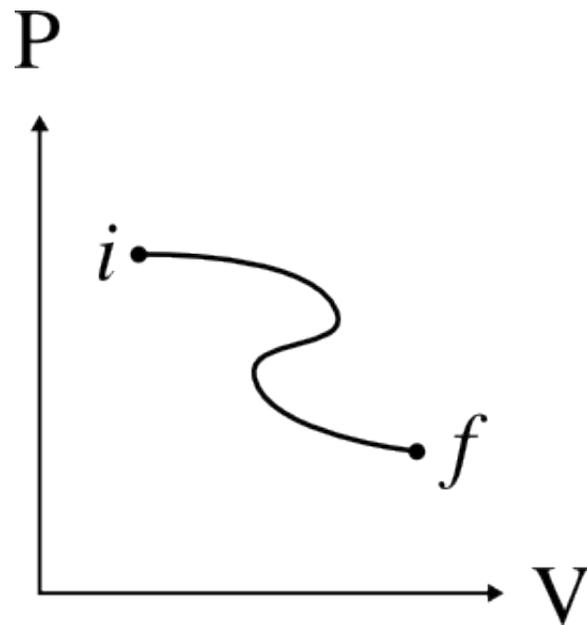
CNTP = Condição Normal de Temperatura e Pressão  
( $P = 1,0 \text{ atm}$  e  $T = 0^{\circ}\text{C}$ )

- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

►► Processos com Gás Ideal

$$P_0, V_0, T_0 \text{ e } n_0 \rightarrow P, V, T \text{ e } n.$$

Representação do processo é feita no Diagrama PV

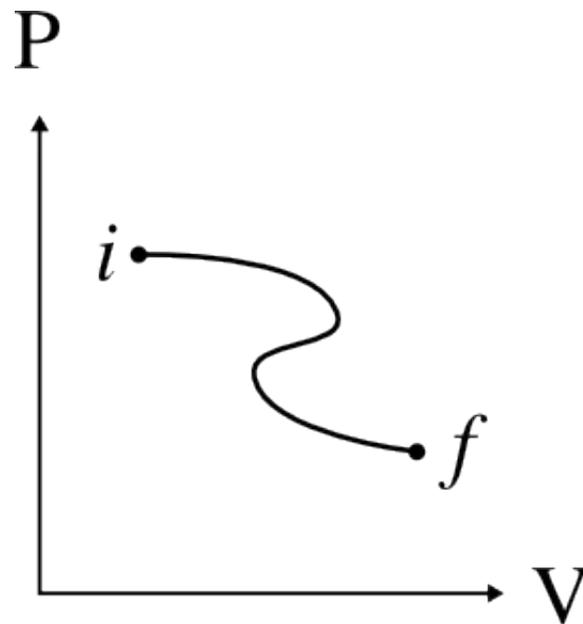


- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

►► Processos com Gás Ideal

$$P_0, V_0, T_0 \text{ e } n_0 \rightarrow P, V, T \text{ e } n.$$

Representação do processo é feita no Diagrama PV



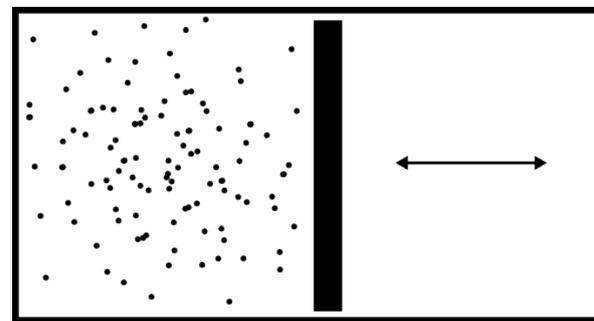
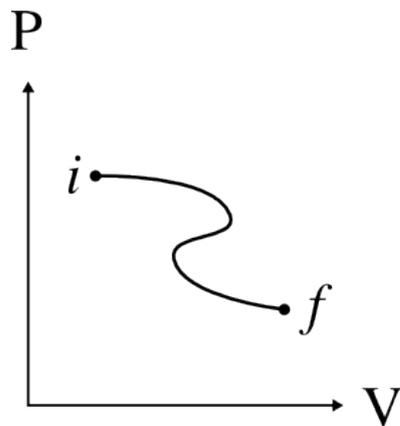
→ Processo Quase-Estático e reversível

## - Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

### ►► Processos com Gás Ideal

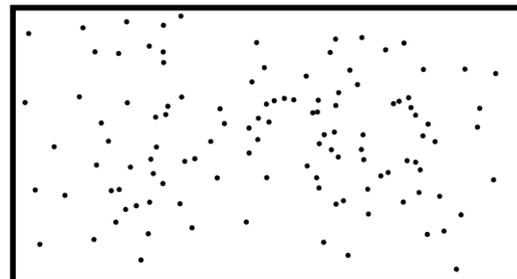
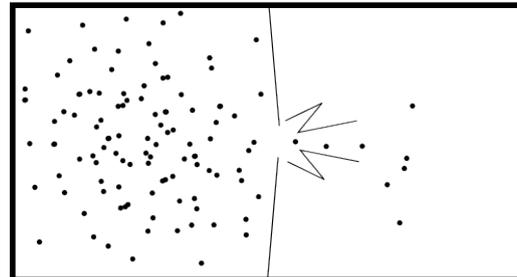
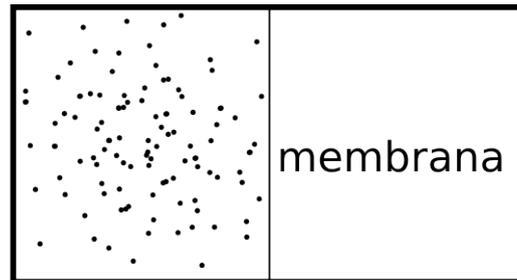
#### Processo quase-estático

As variáveis de estado de um gás mudam durante um processo. Isto nos diz que o gás não está, efetivamente, em equilíbrio. Todavia, se o **processo for lento**, isto é, se a cada instante  $P$ ,  $V$  e  $T$  estiverem muito próximo do equilíbrio, em outras palavras, se  $P$ ,  $V$  e  $T$  estabilizarem assim que o processo for parado, a equação dos gases continua válida.



- Processos com Gás Ideal

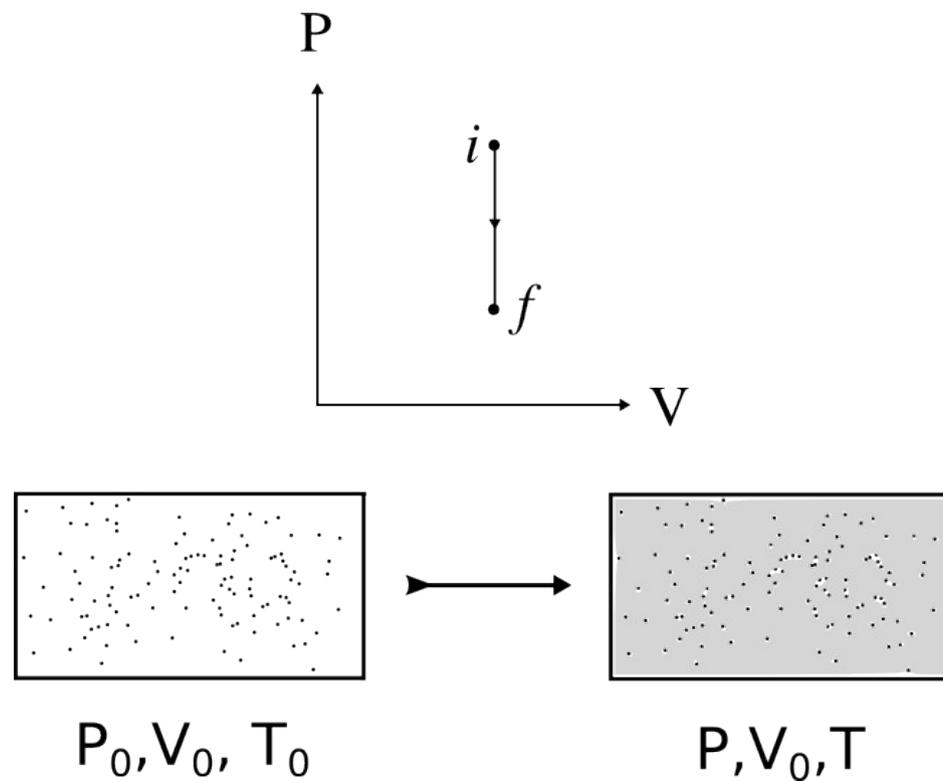
**Processo irreversível**



O processo não  
pode ser  
representado  
no diagrama PV!

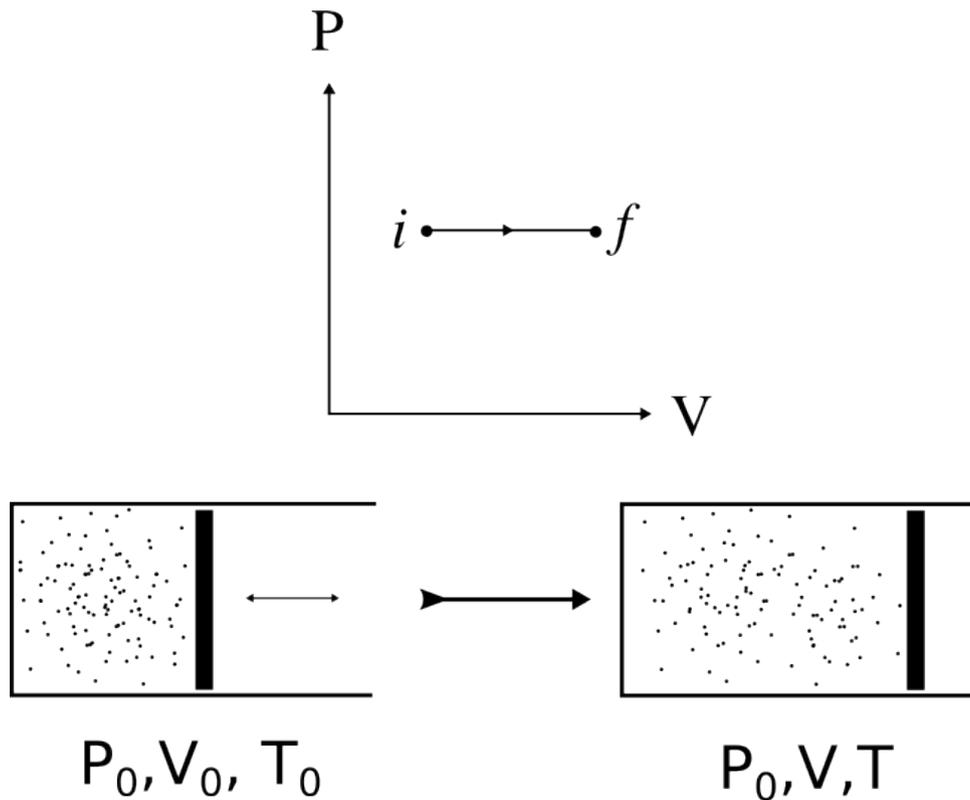
►► Processos com Gás Ideal: 3 Processos Importantes

1) Processo a  $V$  cte - Isocórico ou Isovolumétrico



►► Processos com Gás Ideal: 3 Processos Importantes

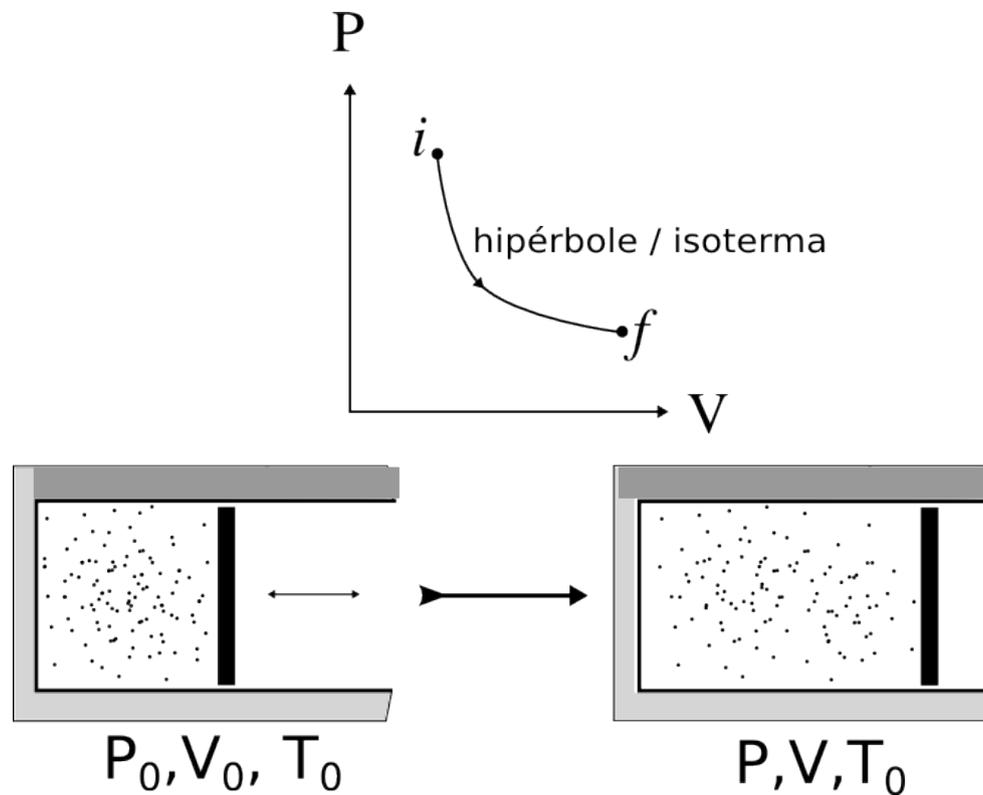
1) Processo a P cte - Isobárico



- Propriedades dos Sólidos, Líquidos e Gases

►► Processos com Gás Ideal: 3 Processos Importantes

1) Processo a T cte - Isotérmico



## Teste Conceitual 4

Quando dois gases separados por uma parede diatérmica (transparentes ao calor) estão em equilíbrio térmico um com o outro:

- A) se somente suas pressões são iguais.
- B) se eles possuem o mesmo número de partículas
- C) se eles ocupam o mesmo volume e têm a mesma pressão
- D) se somente suas temperaturas são iguais.

## Teste Conceitual 5

Um balão de gás frio é colocado em uma sala quente. Ele não estará em equilíbrio térmico com o ar da sala até que

- A) ele suba até atingir o teto
- B) caia e fique em repouso no chão
- C) pare de expandir
- D) pare de se contrair